



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

소형선박 유지·관리용 부유식
선거(Floating Dock)의 제작 및 구조
해석에 관한 연구

Manufacture and Constructional Analysis of the
Floating Dock for Maintenance and Management of
Small Boat



指導教授 吳 珍 錫

2014 年 07 月

韓國海洋大學交 海士產業大學院

기관시스템공학과

河 忠 鎬

本 論文을 趙琯濬의 工學碩士 學位論文으로
認准함.



위원장

유 희 한 (인)

위 원

오 진 석 (인)

위 원

소 명 옥 (인)

2014 년 7 월 22일

한국해양대학교 대학원

목 차

List of Tables	iii
List of Figures	iv
Abstract	vii
 제 1 장 서 론	 1
1.1 연구배경	1
1.2 연구동향	2
1.3 연구내용 및 구성	3
 제 2 장 소형선박 유지·보수용 플로팅 도크시스템 설계	 4
2.1 소형 선박·유지·보수용 인양설비 종류 및 특징	4
2.2 플로팅 도크시스템 개념설계	5
2.3 부력탱크의 부력 및 폭 계산	7
2.4 플로팅 도크시스템 개념 설계	10
2.5 부력 탱크 형상 분석	11
2.6 부력탱크 최적용량 규모산정	17
2.7 프레임 개념설계	19
 제 3 장 플로팅 도크시스템 구조 해석	 23
3.1 플로팅 도크시스템 프레임 구조 해석	23
3.2 프레임의 구조 해석결과	26
3.3 구조 보강후 프레임의 해석결과	34
3.4 플로팅 도크시스템 부력탱크 구조 해석	40
 제 4 장 플로팅 도크시스템 모형실험	 43
4.1 실험 조건	43
4.2 모형시험 장치	44
4.3 실험 방법	45
4.4 모형실험 분석 및 고찰	47

제 5 장 플로팅 도크시스템 해상실험50

5.1 부력탱크 제작50

5.2 플로팅 도크시스템 프레임 제작53

5.3 프레임 및 부력탱크 결합57

5.4 해상 실험60

5.5 해상시험 결과66

제 6 장 결 론68

참 고 문 헌69



List of tables

Table 2.1 The main principal items range of the coat fishing boat less than the G/T 6tone.	6
Table 2.2 The floating dock system and maintenance boat outline scale.	6
Table 2.3 The fluid mechanical check of buoyancy tank shape type "I"	12
Table 2.4 The fluid mechanical check of buoyancy tank shape type "II"	14
Table 2.5 The fluid mechanical check of buoyancy tank shape type "III"	16
Table 2.6 The displacement calculation comparative table	17
Table 3.1 Steel pipes characteristics of frame	24
Table 3.2 The material properties of the steel pipe	24
Table 3.3 Frame boundary conditions	25
boundary onditions	26
Table 3.4 Case analysis result of the frame	26
Table 3.5 Frame boundary condition	34
boundary onditions	35
Table 3.6 Result of calculation type	35
Table 3.7 FRP material properties	41
Table 4.1 The main specifications of the target model floating dock system	43
Table 4.2 Floating dock system, model test results table	46
Table 5.1 Sea trial test condition	60
Table 5.2 Result of sea trial test	61
Table 5.3 Result of floating dock system	67

List of figures

Fig. 2.1 The floating dock conceptual design.	10
Fig. 2.2 The buoyancy tank shape type “ I “	11
Fig. 2.3 Type “ I “ volume displacement	11
Fig. 2.4 The buoyancy tank shape type “ II “	13
Fig. 2.5 Type "II" volume displacement	14
Fig. 2.6 The buoyancy tank shape type “ III “	15
Fig. 2.7 Type “ III “ volume displacement	16
Fig. 2.8 The final floating dock system	18
Fig. 2.9 Buoyancy tank 3D view	22
Fig. 3.1 FEM analysis frame model	23
Fig. 3.2 Constraints and the applied load frame section	25
Fig. 3.3 Point of maximum displacement	26
Fig. 3.4 The results of stress analysis	27
Fig. 3.5 Displacement analysis (20.13mm)	28
Fig. 3.6 The results of stress analysis	29
Fig. 3.7 Displacement analysis (20.16mm)	29
Fig. 3.8 The results of stress analysis	30
Fig. 3.9 Displacement analysis (20.14mm)	31
Fig. 3.10 The results of stress analysis	31
Fig. 3.11 Displacement analysis (20.16mm)	32
Fig. 3.12 The results of stress analysis	33
Fig. 3.13 Displacement analysis (20.16mm)	33
Fig. 3.14 Additional reinforcement frame	34
Fig. 3.15 Floating dock frame	35
Fig. 3.16 The results of stress analysis	36
Fig. 3.17 Displacement analysis (4.87mm)	37
Fig. 3.18 The results of stress analysis	37
Fig. 3.19 Displacement analysis (4.80mm)	38
Fig. 3.20 The results of stress analysis	38
Fig. 3.21 Displacement analysis (6.69mm)	39

Fig. 3.22 Finite element method (FEM) model for analysis constraints and the applied load	40
Fig. 3.23 The results of stress analysis	42
Fig. 3.24 Displacement analysis (0.005mm)	42
Fig. 4.1 Model tested models	44
Fig. 4.2 Model test facility	44
Fig. 4.3 The draft result of the calculation	47
Fig. 4.4 The draft results of model tests	47
Fig. 4.5 The draft of ship grounding	48
Fig. 4.6 Model test results by self weight	48
Fig. 4.7 Draft of model test	49
Fig. 4.8 Shape of model test	49
Fig. 5.1 Buoyancy tank production process	51
Fig. 5.2 Forming of buoyancy tank	52
Fig. 5.3 Cutting and laminated	52
Fig. 5.4 Drawings of frame parts	53
Fig. 5.5 Raw material for frame	54
Fig. 5.6 Flange & steel bolt for assemble frame	55
Fig. 5.7 temporary assembly before painting	56
Fig. 5.8 Finished frame painting	57
Fig. 5.9 Assemble frame and buoyancy tank	57
Fig. 5.10 Timber top assembly work	58
Fig. 5.11 Top of the guard rail and wire work	59
Fig. 5.12 Pipe work and pump installation is complete	59
Fig. 5.13 Result of model test	62
Fig. 5.14 Result of sea trial test	62
Fig. 5.15 Sea trial test of model ship	63
Fig. 5.16 Before the test	63
Fig. 5.17 Fill the buoyancy tank	64
Fig. 5.18 Target vessel entry	64
Fig. 5.19 Drain the buoyancy tank	65
Fig. 5.20 Target vessel departure	65
Fig. 5.21 Compare draft	66



Manufacture and Constructional Analysis of the Floating Dock for Maintenance and Management of Small Boat

Choong Ho Ha

Department of Marine Engineering
Graduate School of Korea Maritime University

Abstract

In recent years, the implementation of five-day workweek and GNP growth have improved quality of life.

This improvement brings us the good daily life basis and also the tendency to spend much more time and money for leisure.

Therefore, because of the change in leisure life pattern, leisure demand including hiking, bicycle as well as marine leisure activities such as fishing, boating and scuba diving which can be observed in developed countries is increasing and this tendency can be observed through the increasing number of leisure activity clubs online or in our real lives.

Due to the growing interest in marine leisure activities, the market for marine leisure equipments is expanding and the number of small vessels which is the primary gear for marine leisure activities is also increasing every year.

During mooring and anchoring of small vessels for leisure activities at small fishing ports and marinas, marine organisms such as barnacles and

algae can attach to the underwater surface of the vessels so that they can increase the resistance during operation which causes the decrease in speed.

To avoid the attachment of these marine organisms, the toxic paint called AF is being used. However the paint is being regulated because of strong toxicity of it. Nowadays, the use of this paint is prohibited. Therefore the removal of these marine organisms attached to the underwater surface of the boat has to be carried out by manpower frequently.

Also, the repair and maintenance of fishing boats which are very similar to the small leisure vessels in size and repair method aspects are generally conducted on the land. These repair works have many disadvantages in space management of small shipyard, towing costs, working hours and safety aspects.

Lifting the hull and superstructure of the small vessels for repair and maintenance on the land is a very common method for them but the range of the vessels which can be towed and the location for repair are very limited because of dependancy on the capacity of cranes being used and the method that workers directly put splints and cradles around the hull. And also damage of the vessels and safety accident can be caused due to skilllessness of workers.

Usually the movement of the ship for repair and maintenance is conducted by 5 to 6 workers using sand bags and wooden bar to fixate the hull to the frame for repair, securing the position of the vessel using rope but in most of working areas, safety accidents are frequently happened due to the lack of support installation and the efficiency of work process is very low.

In addition, most of the process in towing operation is carried out by the workers underwater. Therefore there are various hardships because of bad weathers such as cold winter and typhoons so that workers evade the tasks and it is very hard to find new workforce.

Thus, demand of repair and maintenance of the small vessels, main equipment for marine leisure activities, is increasing due to the rapid growth in the numbers of small vessels but the work postulation for repair and maintenance is quite unsatisfactory.

Therefore, development of safe and economical floating dock system for repair and maintenance of small vessels is necessary. To achieve this, model test is needed for the concept establishment for floating dock system, the structure analysis of related frame structure so that research regarding floating dock system for repair and maintenance of small vessels can be conducted.



제 1 장 서 론

1.1 연구배경

국민 소득 및 여가 활동 증대에 따라 스포츠형 해양 레저 활동이 증가하고 있으며 해양 레저 면허 응시자는 2010년에 1,749명이던 것이 2011년에는 2010년 대비 73.7%증가한 3,038명으로 되었다(2011.1. 해양경찰청).

또한 국내 마리나를 2019년 까지 43개소 개발한다는 국가적 지원책의 발표로 해양레저 장비, 특히 레저선박의 수도 지속적으로 증가하고 이에 따라 소형 선박제조 업체도 점차 증가할 것으로 예상된다.

또한 선체 마찰 저항을 줄이기 위해 선박 제작 후 선체 표면에 A.F(Anti Fouling) 도장 작업 공정이 행해지고 있으나 현재는 법적으로 살충성분이 포함된 A.F도료의 사용을 금지하고 있어서 선박 건조 후 주기적으로 선체 표면의 부착된 이물질 제거 작업이 반드시 필요하다. 이러한 선체 표면 이물질 제거 작업은 일반적으로 크레인으로 선박을 상가시켜 이루어지고 있으나 크레인 이용 방법은 소형조선소의 협소한 작업 공간, 추가 예인비용, 작업 시간, 안전성 측면에서 많은 단점이 있다.

이와 같이 소형어선 및 소형 레저선박이 증가함에 따라 선박의 수리, 유지관리에 대한 수요가 증가하고 있으나 유지·보수 작업 환경은 만족스럽지 못하다. 따라서, 연안 소형선박 수리·유지관리를 위한 경제적이고 안전성 있는 소형 플로팅 도크시스템에 대한 연구가 필요하다.

1.2 연구동향

선박의 유효마력은 선체 저항에 의해 결정되며 선체 저항은 유체에 의한 점성저항과 조파저항, 공기에 의한 공기저항으로 크게 나눌 수 있으며 점성저항은 물의 점성에 기인하여 발생하는 마찰저항, 점성압력항력, 분리저항으로 구분된다.

현재 유체에 의한 점성저항을 줄여 유효마력을 확보하려는 연구가 꾸준히 수행되고 있으며 곡선부 최적 선형 설계 기법에 관한 연구, 파라미터 기반의 파워보트 선형설계 연구, 고속 Ro-Pax 선형의 조파저항 성능 향상을 위한 최적 선형설계에 관한 연구 등이 수행되었다. 이는 선체 제작 전 기본 설계 시 적용되어야 하는 선행 연구 분야에 포함된다.

선박 운항 중 발생하는 유체마찰 저항을 줄이기 위해선 유체와 선체 선저부 접촉면을 신조 시와 비슷한 조건으로 유지해야 한다.

이와 같이 선체 선저부 표면의 수리, 보수, 개조 및 검사를 위해 해상의 선박을 육상으로 끌어 올리는 선박 상가시스템의 성능 향상을 위한 국내연구는 일반 해상크레인 작업으로 국한되어 있으며, 특히 소형 플로팅 도크 상가시스템에 관한 연구는 이루어지고 있지 않다.

플로팅 도크에 관한 연구는 부양식 dock 건조방법에 대한 연구와 플로팅 도크의 개념 정립, 그리고 이를 이용한 선박 건조공법에 대한 연구가 이루어져 있다.

이외에 플로팅 도크 제어기의 개발과 플로팅 도크의 안벽 임시 계류 시스템에 대한 연구, 규칙파중 플로팅 도크의 운동응답특성 및 계류장력 추정 연구, 활주식 진수시스템을 위한 플로팅 도크제어 시뮬레이터의 개발에 대한 연구 등이 수행 되었으나, 국내 소형 플로팅 도크에 대해선 이론적 정립과 개념 확립만 진행된 상태이며, 실물에 대한 실험 및 검증에 대한 연구는 전무한 상태이다.

1.3 연구내용 및 구성

본 논문은 국내외 소형선박 유지 관리용 상가시스템의 종류 및 특징들에 대하여 자료를 조사 분석하여 연구 대상 상가시스템의 주요 규모를 도출한다. 도출된 소형선박 유지·보수용 소형 플로팅도크 시스템의 규모를 바탕으로 개념 정립 및 개념 설계를 수행하고, 설계된 자료를 바탕으로 제품의 구조 강도, 적정 부력용량 및 조선공학적 계산을 수행하고 설계된 상가시스템의 모형 시험 및 해상 실험을 통해 시스템의 기본설계의 타당성 및 향후 활용 방안에 대한 연구를 수행한다.

본 논문은 총 7장으로 구성되어 있으며 각 장의 내용은 다음과 같다.

제 1 장에서는 플로팅 도크시스템의 연구배경을 설명하고, 소형선박의 유지 관리를 위한 연구 동향에 대해 기술한다.

제 2 장에서는 플로팅 도크시스템의 설계를 수행하고 설계에 대한 유체 역학적 분석을 통한 최종 설계방법에 대해 서술한다.

제 3 장에서는 2장에서 도출된 플로팅 도크시스템에 대한 구조적 안정성에 대한 구조 해석에 대해 서술한다.

제 4 장에서는 구조 해석으로 최적화된 플로팅 도크의 모형 수조 시험에 대한 방법에 대해 서술한다.

제 5 장에서는 플로팅 도크 해상 시험 및 해상 시험 결과에 대해 서술한다.

제 6 장에서는 실험결과를 토대로 플로팅 도크시스템의 개선방안과 향후 방안에 대해 서술한다.

제 2 장 소형선박 유지·보수용 플로팅 도크시스템 설계

2.1 소형 선박·유지·보수용 인양설비 종류 및 특징

국내외의 소형선박 유지·보수 설비는 대부분 소형선박의 계류설비 부근에 부착되는 고정식 리프트(크레인)로서 단지 소형선박의 계류 및 보관의 목적으로 사용되고 있다. 소형 선박 유지·보수 설비의 종류로는 캔틸레버 리프트, 유압식 리프트가 있으며 특징은 다음과 같다.

대표적인 장비로서 캔틸레버 리프트 (cantilever lift)는 고장 없이 오랜 시간 동안 사용되어 왔으며, 신뢰성 향상 및 제작비용 절약하기 위해 간단한 방법으로 작동하며 한자리에 고정되어 대부분 이동이 불가능하다.

'N'타입 캔틸레버 리프트는 수동식으로서 견고하게 제작되었고 넓은 폭과 긴 선박의 계류 및 유지보수를 위해 개량된 형식이다. 레벨 조절장치는 선박자중 816kg의 모델에 대하여 표준모델로서 보트 진수와 폰툰 보트를 위한 여분의 진수 시스템장비를 갖추었다.

주요시스템은 자동조절 진수장치, 킬 보호 장치, 리더 끝 보호대, 스피너 손잡이 등으로 구성되어 있으며, 스테인리스 스틸 핀을 가진 외부에서 박은 다리는 더 쉽게 조절하고 전파방해를 예방한다.

유압식 리프트는 캔틸레버 리프트와 그 형상과 작동 방식은 유사하나 인력이 아닌 유압 구동장치에 의해 작동된다. 원격조정 장치를 이용하기 때문에 제어 및 조절이 보다 용이하며 사용이 매우 간편한 특징을 가지고 있다. 이외에도 부양식 보트 계류 장치와 수면접촉계류 설비는 유일한 슬라이딩 리프트 시스템이다. 움직이는 부분은 없고 실질적으로 유지하기가 자유롭다. 혁신적인 볼트 부착 시스템으로 바로 상가대에 쉽게 설치할 수 있다.

2.2 플로팅 도크시스템 개념설계

본 절에서는 대상 소형선박의 보수, 유지·관리를 위한 플로팅 도크시스템의 규모, 특성 및 주요시스템 분석 등에 대한 개념을 정립한다. 또한 플로팅 도크시스템의 부력탱크의 유체역학적 특성을 분석하여 개발대상 플로팅 도크시스템을 개념설계 한다. 추가적으로 개념설계와 유체역학적 특성을 분석한 결과를 바탕으로 플로팅 도크시스템의 프레임부와 부력 탱크의 구조 해석을 수행하여 개념 설계된 플로팅 도크시스템의 안정성을 검토 한다.

소형선박의 보수, 유지·관리를 위한 플로팅 도크시스템의 개략적인 규모를 추정하기 위하여 G/T(총톤수) 6톤 이하 26,000여척의 연안어선에 대하여 톤급별 주요요목 범위를 선박안전기술협회(KST)의 자료를 조사, 분석하였으며 레저선박의 경우 전장 12m이하의 선박을 기준으로 선정했다.

선박안전기술공단(KST)의 자료는 대부분이 G/T(총톤수)로 분류되어 있어 배수 톤수로 변환하여 계산하는 것이 다소 어려운 부분이지만 조사결과, 많은 척수를 차지하는 연안어선의 톤수는 G/T(총톤수) 1톤 이하는 18.55%, G/T(총톤수) 2톤급이 전체 25.41% 이다. 전체 연안어선 중 93.7%를 차지하는 G/T(총톤수) 5톤급 미만의 연안어선을 플로팅 도크시스템 유지관리 대상 소형선박으로 최종 결정하여 기본 설계를 진행 하였다. Table 2.1에서 G/T 6톤(총톤수) 미만의 연안어선에 대한 주요요목 범위 및 평균값을 나타낸다.

상가대에 들어가는 선박의 대부분은 선체 바닥의 수리, 도장 및 해양식물을 제거하는 작업이 대부분인데 선체 바닥을 수리한 후 도장의 건조가 용이 하도록 환기 및 햇볕이 잘 드는 구조가 합당할 것으로 생각되며, 추가적으로 선체의 파손이나 고장의 정도가 심하여 지상으로 직접 옮겨야 할 상황이 발생할 때 추가적인 장비의 사용 없이도 지상으로 이동의 연계가 가능하여야 한다.

이와 같은 조사와 검토를 바탕으로, G/T 5톤급 미만 연안어선의 주요요목을 고려하여 수리 대상 선박의 최대길이는 최대 12m, 최대 내부 폭은 5m, 최대 흘수는 1m로 결정하였다.

Table 2.1 The main principal items range of the fishing boat less than the G/T 6tone.

Tone	Length(L) (avg)	Molded breath(B) (avg)	Molded depth(D) (avg)	Q'ty	Percentage (%)
~1 tonne	1.68~13.3 (5.77)	1.05~6.17 (1.71)	0.25~1.68 (0.60)	2,141	8.22
1 tonne	1.38~10.61 (6.86)	0.87~3.95 (2.01)	0.21~2.78 (0.73)	2,690	10.33
2 tonne	1.95~11.3 (7.74)	1.6~3.8 (2.34)	0.5~2.31 (0.82)	6,620	25.41
3 tonne	2.89~11.08 (8.58)	1.91~8.31 (2.61)	0.57~2.52 (0.89)	5,279	20.41
4 tonne	2.72~12 (9.39)	0.97~6.73 (2.82)	0.57~2.94 (0.98)	6,473	24.85
5 tonne	5.81~13.4 (10.36)	1.98~6.75 (3.06)	0.72~2.97 (1.09)	1,191	4.57
6 tonne	8.78~14.22 (10.99)	2.05~4.48 (3.22)	0.72~2.95 (1.14)	1,657	6.36
합 계				26,051	100

유지관리 대상 소형선박의 최대 자중을 5톤과 플로팅 도크시스템 자중 5톤을 합한 최대 10톤의 하중을 상하로 유동적으로 조절할 수 있는 플로팅 도크시스템의 부력탱크 용량을 고려하여 플로팅 도크시스템의 개략규모 Table 2.2 와 같이 도출하였다.

Table 2.2 The floating dock system and maintenance boat outline scale.

Item	Target vessel	Floating dock	Notes
Max weight	5 tones	5 tones	Buoyancy tank capacity of 10 tons
L.O.A (m)	10m	12m	frame length 12m
B (m)	3m	Ensuring work space	vessel length+work space = 5m
D (m)	1.50	2.00	max draft 1m
T	Consider 1.2m margin	Consider 0.5m margin	2m

2.3 부력탱크의 부력 및 폭 계산

플로팅 도크시스템의 부력탱크 적정부력을 계산 하기 위하여 부력의 정의에 대해서 간략히 서술한다. 연구대상 플로팅 도크시스템의 적정 부력을 계산하였다. 일반적으로 선박에서 말하는 톤수는 ‘등록톤(registry tonnage)’으로 대부분 해운국의 법률은 배가 등록되기 전에 그 나라의 톤수 규정에 따라서 각기 다른 기준에 의해서 측정이 된다. 여기서 사용되는 톤은 용적의 단위를 말한다.

뉴턴의 가속도 법칙은 외력의 총합에 의해 가속도가 결정된다는 것이다. 뉴턴의 가속도 법칙은 아래 식과 같고 m 은 질량, a 는 가속도, F 는 외력의 총합을 나타낸다.

$$F = m a \quad (2.1)$$

식(2.1)의 뉴턴 가속도법칙을 부력에 대한 식으로 치환하기 위해서 질량 $m = \rho V$ 의 관계를 적용하고 가속도 a 는 물체가 중력에 의해 지구 중심방향으로 향하므로 중력가속도 g 로 치환된다. 따라서 부력은 식 (2.2)과 같이 다시 나타낼 수 있다. 여기서 F_B : 부력, ρ : 밀도, g : 중력가속도, V : 체적이다.

$$F_B = \rho V g \quad (2.2)$$

부력은 앞서 말한 뉴턴의 가속도에 의해서 식(2.2)의 좌변에 식(2.1)을 대입하여 식 (2.3)과 같이 다시 고쳐 쓸 수 있다.

$$m a = \rho V g \quad (2.3)$$

여기서 왼쪽 항의 가속도 a 와 오른쪽 항의 중력가속도 g 는 크기는 같고 방향이 다르므로 상쇄시킬 수 있는 힘의 성분이다.

다시 말하면 부력은 어떤 물체가 배제한 액체의 무게와 같다. 물체가 유체

속에 떠 있기 위해서는 물체의 무게와 동일한 힘으로 밑에서 떠받치는 힘이 필요하게 되는데 이것을 부력이라고 말 할 수 있다.

앞서 주요 요목 결정에서 플로팅 도크시스템은 최대 톤수는 선박의 최대 경하중량 5톤과 프레임부의 자중 5톤을 합한 최대 10톤의 무게를 지탱할 수 있는 부력이 필요하다.

SI단위계에서 1톤(ton)은 질량1000kg을 나타내는 것으로 앞서 정의한 소형선박 유지 보수용 소형 플로팅 도크시스템의 최대 중량 약 10톤은 질량으로 환산하면 10,000kg이 된다. 따라서 아래식에 의해 부력 체적을 구할 수 있다. 여기서 양변에 있는 가속도 a 와 g 는 크기가 같으므로 삭제될 수 있다.

$$F_B = g\rho V \quad (2.4)$$

$$ma = g\rho V \quad (2.5)$$

$$V = \frac{10,000_{kg}}{1,025_{kg/m^3}} = 9.756m^3 \quad (2.6)$$

식 (2.6)에 의해 계획된 연안 선박 유지 보수용 소형 플로팅 도크시스템의 부력탱크의 용적을 추정할 수 있다. 이러한 방법으로 10톤 규모의 부력 용적은 9.7561m³로 결정할 수 있었다.

또한 식 (2.6)에서 구해진 용적 9.7561m³는 부력탱크의 전면부 면적과 소형선박 유지 보수용 소형 플로팅의 전체 길이 12m가 곱해진 전체 부피로 주요요목에서 결정된 플로팅 도크시스템의 전체 길이로 나누면 전면부의 면적을 예측할 수 있다. 따라서 소형선박 유지 보수용 소형 플로팅 도크시스템의 전장 12m로 나누면 필요한 부력탱크의 전면부 면적을 추정할 수 있다.

부력탱크의 전면부 면적은 $9.7561\text{m}^2 / 12\text{m} = 0.813\text{m}^2$ 이다.

소형선박 유지 보수용 소형 플로팅 도크시스템의 구조상 부력탱크는 양쪽에 2개가 위치하도록 설계되어 있기 때문에 계산된 결과 값을 2로 나누어주면 구하고자하는 소형선박 유지 보수용 소형 플로팅 도크시스템의 부력탱크의 전면부 면적을 추정할 수가 있다. 따라서 한쪽 부력탱크의 전면부 형상에 대한 면적은 약 0.4065m^2 로 계산되었다.

전체 중량 10톤에 대한 부력탱크의 형상 및 규모를 도출하기 위해 한쪽 부력탱크의 전면부 형상에 대한 계략적인 면적은 약 0.4065m^2 정도로 정해 졌으며, 부력탱크의 흘수는 유지 보수 대상 선박의 작업성을 고려해야 한다. 선박이 거취된 프레임 상부의 높이는 작업성과 안정성 및 작업 후 정리 정돈의 여건들을 고려하여 수면보다 높은 곳에 위치 하여야 한다.

이와 같은 여러 조건들을 고려하여 유지 보수 대상 선박의 계류 후 수면과 작업공간의 높이를 약 15cm 정도 여유를 주어 작업성을 높이도록 한다. 그 결과 초기 주요요목 결정시 결정된 흘수 높이 70cm에서 10cm를 빼 약 60cm를 흘수 높이로 최종한다.

전체 중량 10톤에 대한 한쪽 부력 탱크의 전 면부 높이를 약 60cm로 결정하고, 단면은 사각형으로 가정하여 전면부 폭을 계산하면 $0.4065\text{m}^2 / 0.6\text{m} = 0.6775\text{m}$ 가 된다.

실제로 제작하고자 하는 소형선박 유지 보수용 소형 플로팅 도크시스템의 부력탱크의 단면형상은 부력탱크의 내·외부에서 받게 되는 수압에 의한 구조적 강도나 부력탱크를 제작할 때 작업성 등을 고려하고, 바닥은 특정 부분에 집중 하중을 받지 않도록 해야 하기 때문에 단순 사각형이 아니다.

2.4 플로팅 도크시스템 개념 설계

Fig. 2.1은 초기 계획된 소형선박 유지 보수용 소형 플로팅 도크시스템의 개념도를 보여주고 있다. 그림에서 확인할 수 있는 것처럼 전체적인 형상은 부력 탱크 하단부가 곡률이 있는 타원형 형상을 하고 있다. 앞서 설명한 것처럼 FRP의 특성상 각진 곳에서는 집중하중으로 인하여 균열 및 파손이 생길 수 있으므로 각진 형상보다는 곡률이 있는 형상으로 하였다.

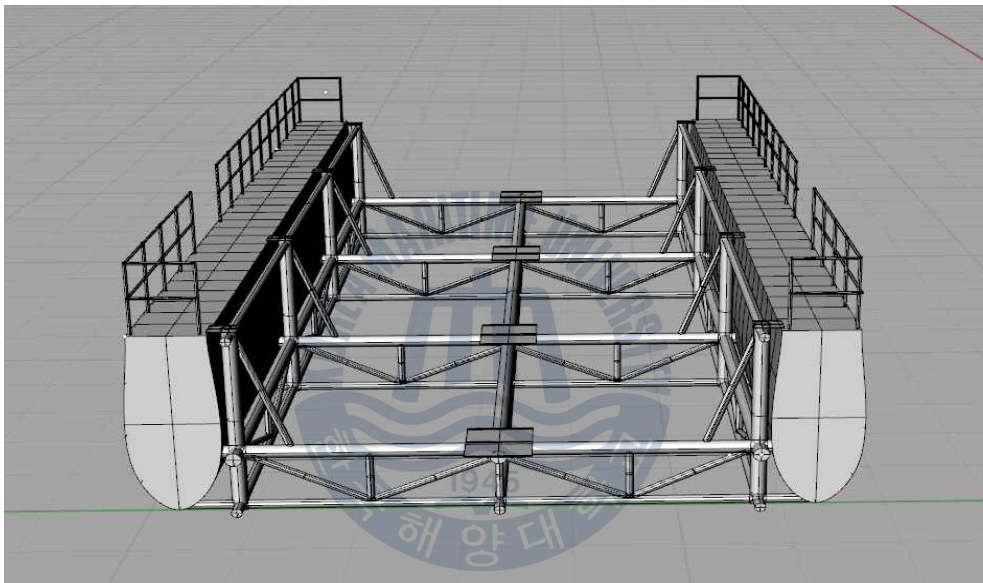


Fig. 2.1 The floating dock conceptual design.

부력탱크와 프레임의 연결에 따른 고정방법과 조립에 따른 작업 여건, 시간 경과에 따른 재료들의 피로 파괴 문제 등을 고려하여 각 형상에 적합한 설계를 새롭게 수행하기로 한다.

앞서 제기된 여러 가지 충족 조건들을 고려하여 부력탱크의 형상은 4가지를 고려하였으며 같은 형상에서 위치를 변경시켜 횡 방향 운동성능을 개선하고, 피로파괴 문제를 고려하여 총 3가지 다른 형상에 대한 설계를 수행하고 이중 요구조건과 작업성, 제작성 등을 고려하여 소형 플로팅 도크시스템의 형상으로 선정한다.

2.5 부력 탱크 형상 분석

부력탱크 형상 I 은 불필요한 공간을 최대한 제거하는 것을 목표로 설계를 수행하였으며, 불필요한 공간을 활용함과 동시에 부력탱크와 프레임부 조립 시 접합 면적을 넓힘으로 접합부위에 대한 피로파괴의 가능성을 최대한 줄이고자 하였다. Fig. 2.2은 형상 I 의 전체 형상을 보여주고 있으며, Fig. 2.4 는 형상 I 의 형상에 대한 홀수별 부력탱크의 배수량을 나타낸다. Table 2.3은 형상 I 에 부력탱크 홀수별 침수표면적과 배수량 등의 유체역학적 계산표이다.

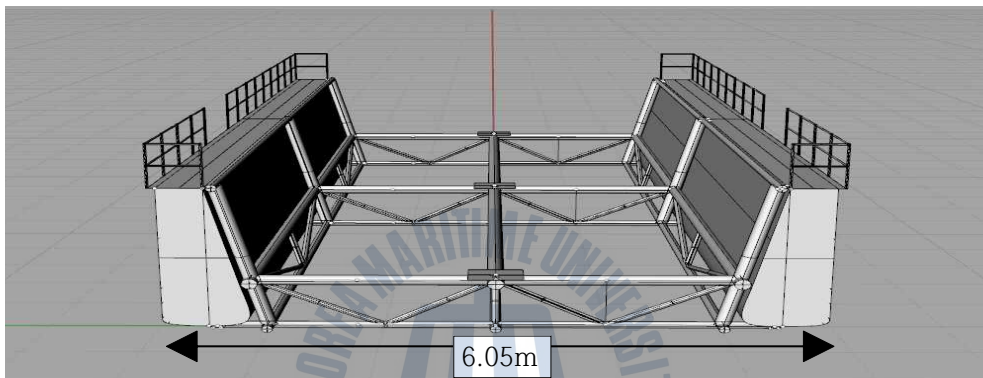


Fig. 2.2 The buoyancy tank shape type "I "

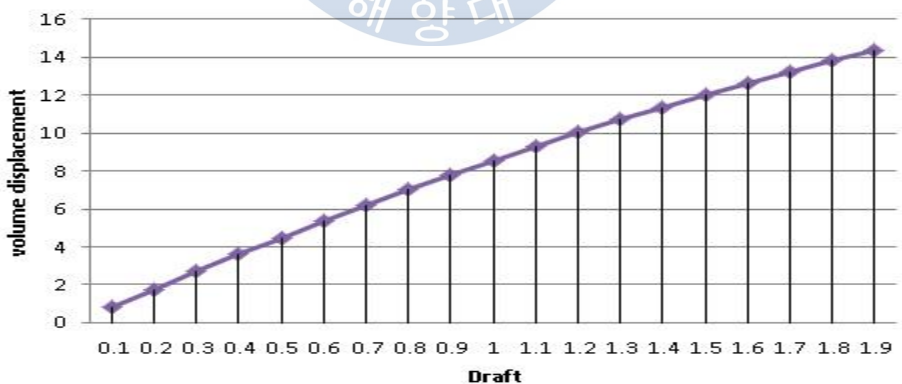


Fig.2.3 type "I " volume displacement

Table 2.3 The fluid mechanical check of buoyancy tank shape " I "

draft	volume displacement	center of buoyancy	wetted surface area	maximum waterline beam	water plane area	center of floatation
0.1	0.789929	0.0552	10.3475	0.775852	9.31023	0.1
0.2	1.73287	0.106	12.9235	0.788279	9.45935	0.2
0.3	2.67244	0.157	15.4905	0.775586	9.30703	0.3
0.4	3.59117	0.206	18.0692	0.754849	9.05819	0.4
0.5	4.48291	0.255	20.6512	0.731099	8.77319	0.5
0.6	5.3461	0.302	23.2253	0.708625	8.5035	0.6
0.7	6.18427	0.35	25.7895	0.688313	8.25976	0.7
0.8	6.99806	0.396	28.3496	0.668001	8.01601	0.8
0.9	7.78747	0.442	30.9057	0.647689	7.77227	0.9
1.0	8.55251	0.49	33.4577	0.627377	7.52852	1
1.1	9.29317	0.532	36.0057	0.607065	7.28478	1.1
1.2	10.0095	0.576	38.5496	0.586753	7.04103	1.2
1.3	10.7014	0.62	41.0894	0.566441	6.79729	1.3
1.4	11.3689	0.662	43.6251	0.546129	6.55355	1.4
1.5	12.0121	0.704	46.1568	0.525817	6.3098	1.5
1.6	12.6309	0.746	48.6845	0.505505	6.06606	1.6
1.7	13.2253	0.786	51.2081	0.485193	5.82231	1.7
1.8	13.7953	0.826	53.7276	0.464881	5.57857	1.8
1.9	14.341	0.865	56.243	0.444569	5.33482	1.9

부력탱크 형상 II는 부력탱크 형상 I의 형상과 유사하나 부력탱크가 반대 방향으로 구성되어져 있다. 부력 탱크의 위치가 변함에 따라 프레임과 부력 탱크의 접합 문제로 인하여 프레임의 구조가 조금 변경되었다. Fig. 2.5은 형상 II의 형상을 보여주고 있으며, 부력탱크 형상 II의 유체역학적 계산 결과는 Table 2.4의 부력탱크 형상 II의 계산 결과와 같다.

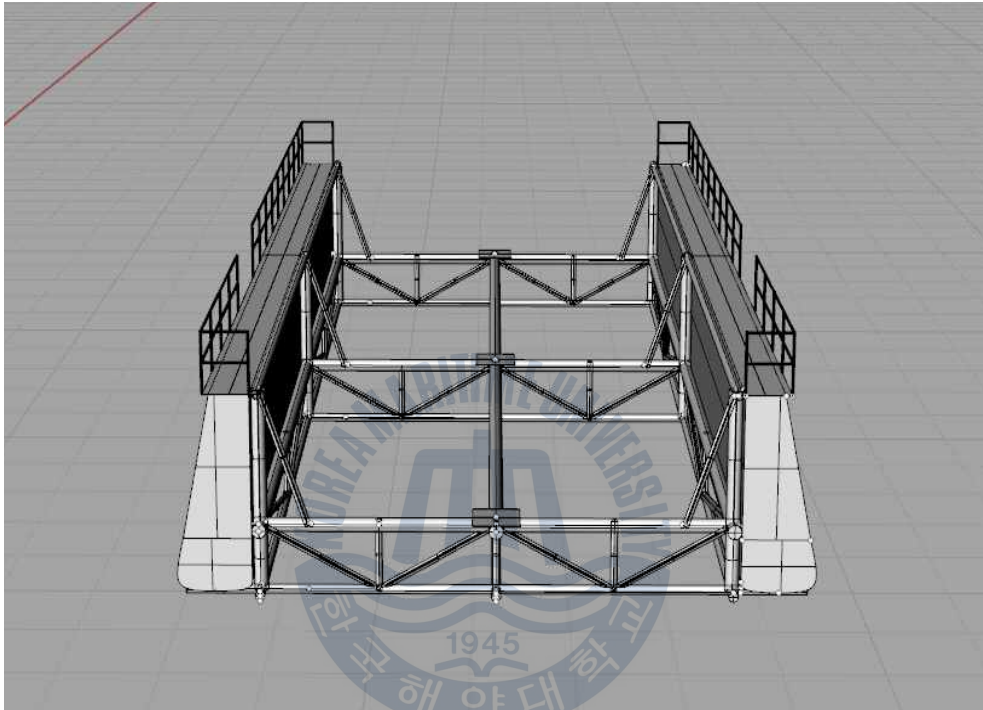


Fig. 2.4 The buoyancy tank shape type "II"

부력탱크 형상 II는 부력탱크 형상 I과 유체역학적 특성에서도 거의 차이가 없지만 부력탱크의 형상이 밖으로 곡이 진 상태이기 때문에 기상 상태나 해상 여건에 따라 발생하는 파도에 의한 부력탱크 외부의 충격이 작을 것으로 생각되며, 폭이 형상 I보다 넓어진 효과를 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다. 반면에 부력탱크와 프레임부 접합 및 지지하는 파이프가 수직 방향으로 이동되었기 때문에 선박 거치 시 배의 자중과 부력탱크의 부력이 플로팅 도크시스템 중심부로 발생된다. 이로 인한 모멘트의 영향을 고려하기 위해 추가적인 보강 부재가 필요하므로 전체 자중이 증가하는 단점이 있다.

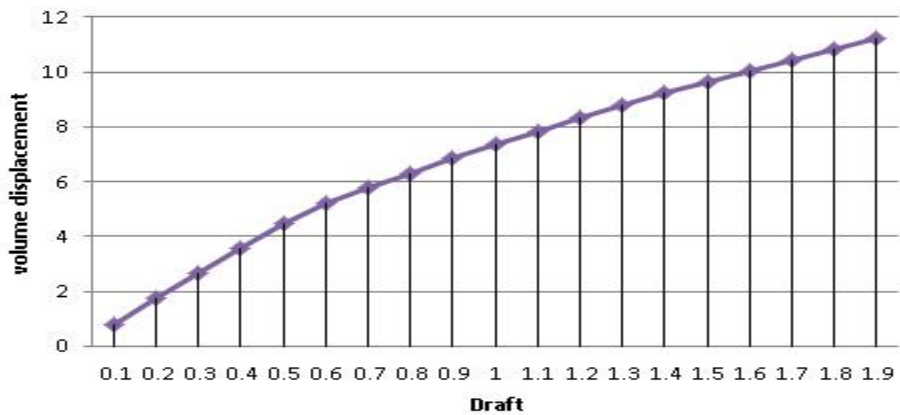


Fig.2.5 Type "II" Volume displacement

Table 2.4 The fluid mechanical check of buoyancy tank shape type "II"

draft	volume displacement	center of buoyancy	wetted surface area	maximum waterline beam	water plane area	center of floatation
0.1	0.789929	0.0552	10.3475	0.775852	9.31023	0.1
0.2	1.73287	0.106	12.9235	0.788279	9.45935	0.2
0.3	2.67244	0.157	15.4905	0.775586	9.30703	0.3
0.4	3.59117	0.206	18.0692	0.754849	9.05819	0.4
0.5	4.48291	0.255	20.6512	0.731099	8.77319	0.5
0.6	5.20336	0.294966	25.7677	0.708625	5.669	0.6
0.7	5.76214	0.329371	27.6634	0.688313	5.5065	0.7
0.8	6.30466	0.365545	29.551	0.668001	5.34401	0.8
0.9	6.83094	0.402849	31.4305	0.647689	5.18151	0.9
1.0	7.34097	0.440845	33.3019	0.627377	5.01902	1
1.1	7.83474	0.479219	35.1651	0.607065	4.85652	1.1
1.2	8.31227	0.517738	37.0202	0.586753	4.6940	1.2
1.3	8.77355	0.556222	38.8672	0.566441	4.53153	1.3
1.4	9.21858	0.594527	40.706	0.546129	4.36903	1.4
1.5	9.64735	0.632535	42.5367	0.525817	4.20653	1.5
1.6	10.0599	0.670144	44.3593	0.505505	4.04404	1.6
1.7	10.4562	0.707267	46.1738	0.485193	3.88154	1.7
1.8	10.8362	0.743823	47.9802	0.464881	3.71905	1.8
1.9	11.2	0.77974	49.7784	0.444569	3.55655	1.9

부력탱크 형상 Ⅲ은 앞서 부력탱크 형상 Ⅰ과 부력탱크 형상 Ⅱ의 장점으로 생각되는 몇 가지 특징을 접목하여 설계한 것이다. 부력탱크 형상 Ⅲ의 특징은 먼저 부력탱크 형상 Ⅰ의 특징 중에 불필요한 공간을 최대한 줄인 것과 부력탱크와 프레임의 접합하는 공정이 다른 형상에 비해 용이하도록 고안되어져 있다. 또한 내벽과 외벽이 모두 곡선처리 되어 있어 제작과 구조적 강도측면에서 유리한 형상을 하도록 하였다. 부력탱크 형상 Ⅱ의 특징처럼 동일 배수량에 대해서 전체 폭을 넓이는 효과를 얻어 횡 방향 운동성능 안정성을 높일 수 있는 특징을 가지고 있다. Fig 2.6는 부력탱크 형상 Ⅲ의 형상을 보여주고 있으며, Table 2.6는 부력탱크 형상 Ⅲ에 대한 유체역학적 계산 결과를 보여주고 있다.

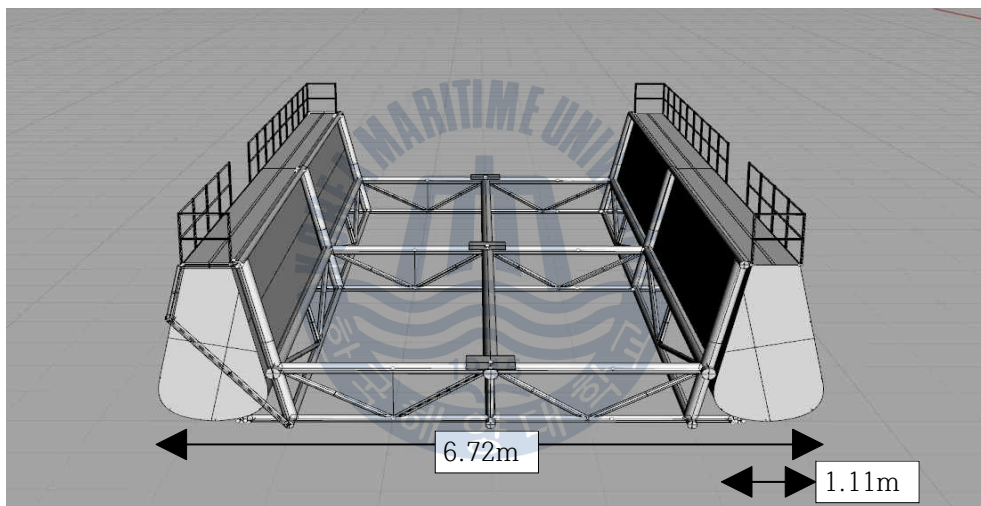


Fig. 2.6 The buoyancy tank shape type "Ⅲ"

Fig. 2.6의 부력탱크 형상 Ⅲ은 양쪽의 프레임 형상의 차이가 있음을 알 수 있다. 특히 왼쪽 부력탱크를 지지하는 프레임 형상은 프레임과 부력탱크의 접합을 일반적인 볼트 접합 법이 아닌 부력탱크를 프레임의 아래로 끼우는 방식을 고려하였다. 부력탱크와 프레임의 접합 시 가장 쉬운 방법이 부력탱크 내부에 볼트를 고정시키고 프레임과 너트로 조이는 방법이 가장 일반적인 방법이지만, FRP 재질과 스틸의 재질적 특성이 달라 오랜 시간이 지나면 접합 부에 피로파괴가 발생할 소지가 있어 왼쪽 형상처럼 추가적으로 설계를 수행하였다.

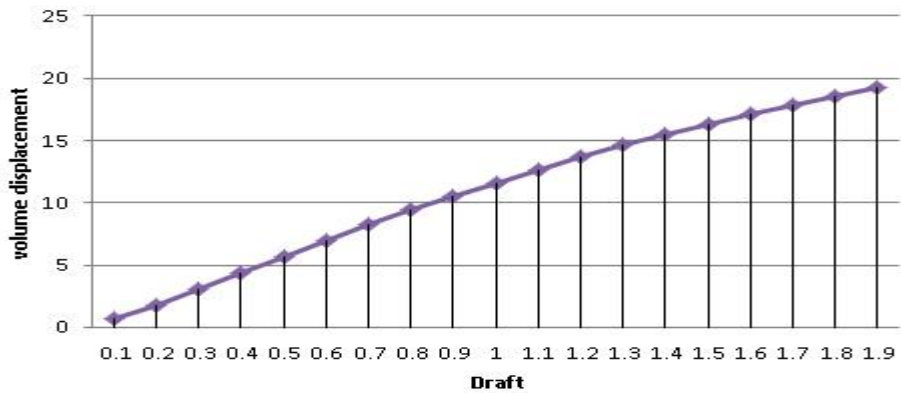


Fig. 2.7 Type "III" volume displacement

Table 2.5 The fluid mechanical check of buoyancy tank shape type "III"

draft	volume displacement	center of buoyancy	wetted surface area	maximum waterline beam	water plane area	center of floatation
0.1	0.653171	0.06	10.1468	0.803063	9.63676	0.1
0.2	1.75805	0.11	13.7944	1.00785	12.0942	0.2
0.3	3.02455	0.17	16.6108	1.08953	13.0744	0.3
0.4	4.34859	0.23	19.2487	1.1094	13.3128	0.4
0.5	5.67195	0.28	21.8817	1.09103	13.0924	0.5
0.6	6.95779	0.33	24.5435	1.05116	12.614	0.6
0.7	8.19481	0.38	27.1986	1.01054	12.1265	0.7
0.8	9.38309	0.42	29.8457	0.969914	11.639	0.8
0.9	10.5226	0.47	32.4846	0.92929	11.1515	0.9
1.0	11.6134	0.52	35.1154	0.888666	10.664	1
1.1	12.6554	0.56	37.7381	0.848042	10.1765	1.1
1.2	13.6487	0.6	40.3527	0.807418	9.68902	1.2
1.3	14.5932	0.64	42.9591	0.766794	9.20153	1.3
1.4	15.489	0.69	45.5574	0.72617	8.71404	1.4
1.5	16.336	0.72	48.1476	0.685546	8.22655	1.5
1.6	17.1343	0.76	50.7296	0.644922	7.73906	1.6
1.7	17.8838	0.80	53.3036	0.604298	7.25158	1.7
1.8	18.5846	0.84	55.8694	0.563674	6.76409	1.8
1.9	19.2366	0.87	58.4271	0.52305	6.2766	1.9

2.6 부력탱크 최적용량 규모산정

앞서 설계된 3가지 형상의 부력 탱크의 부력 용량 적정성을 비교하기 위해 흘수에 따라 배수용적을 배수량으로 변환하여 Table 2.6에 각각 비교 정리하였다.

Table 2.6 The displacement calculation comparative table

draft (m)	buoyancy tank I		buoyancy tank II		buoyancy tank III	
	volume of displacement (m ³)	displacement (Ton)	volume of displacement (m ³)	displacement (Ton)	volume of displacement (m ³)	displacement (Ton)
0.1	1.57985	1.61935	1.57985	1.61935	1.30634	1.33900
0.2	3.46574	3.55238	3.46574	3.55238	3.5161	3.60400
0.3	5.34488	5.47850	5.34488	5.47850	6.0491	6.20032
0.4	7.18234	7.36189	7.18234	7.36189	8.69718	8.91461
0.5	8.96582	9.18996	8.96582	9.18996	11.3439	11.6275
0.6	10.6922	10.9595	10.4067	10.6668	13.9155	14.2634
0.7	12.3685	12.6777	11.5242	11.8123	16.3896	16.7993
0.8	13.9961	14.3460	12.6093	12.9245	18.7661	19.2353
0.9	15.5749	15.9643	13.6618	14.0034	21.0452	21.5713
1.0	17.1050	17.5326	14.6819	15.0489	23.2268	23.8074
1.1	18.5863	19.051	15.6694	16.0612	25.3108	25.9435
1.2	20.019	20.5194	16.6245	17.0401	27.2974	27.9798
1.3	21.4028	21.9378	17.5471	17.9857	29.1864	29.9160
1.4	22.7378	23.3062	18.4371	18.8980	30.978	31.7524
1.5	24.0242	24.6248	19.2947	19.7770	32.672	33.4888
1.6	25.2618	25.8933	20.1198	20.6228	34.2686	35.1253
1.7	26.4506	27.1118	20.9124	21.4352	35.7676	36.6617
1.8	27.5906	28.2803	21.6724	22.2142	37.1692	38.0984
1.9	28.682	29.3990	22.4	22.96	38.4732	39.4350

3가지 형상에 대한 부력탱크 용량 비교결과를 살펴보면 부력탱크 형상 I, 부력탱크 형상 II 및 부력탱크 형상 III 모두 계획된 기준을 만족 하는 것으로 한다. 하지만 앞서 살펴본 부력탱크 형상 I 과 부력탱크 형상 II, 그리고 부력탱크 형상 II의 개선된 형상의 경우 각 형상과 구조에 따라 장점도 있지만 단점이 될 만한 사항도 존재하기 때문에 가장 문제점이 없는 형상을 선정하기로 한다. 따라서 부력 및 각 형상의 장단점, 안전성을 고려하여 최종적으로 부력탱크 형상 III을 선택하여 상세 설계를 수행한다.

부력탱크 형상 III의 경우 프레임과 부력탱크의 접합을 볼트 접합, 끼우는 방식 등 여러 가지 방법을 생각할 수 있지만, 볼트 접합이나 끼우는 방식으로 수행할 경우 유격 발생의 문제, 파도에 의한 인해 부력탱크의 파손 우려 등을 고려하여 추가적인 설계 보강을 수행하였다.

추가적인 보강 설계는 부력 탱크의 바닥 부분의 파손방지, 부력탱크와 프레임을 고정하기 위해 프레임 파이프를 부력탱크 외벽까지 연장하여 프레임이 부력탱크를 감싸는 형상을 하도록 보완하였다. Fig. 2.8은 추가적으로 설계가 보완된 최종 연안 선박 유지 보수용 소형 플로팅 도크시스템의 형상을 보여주고 있다.

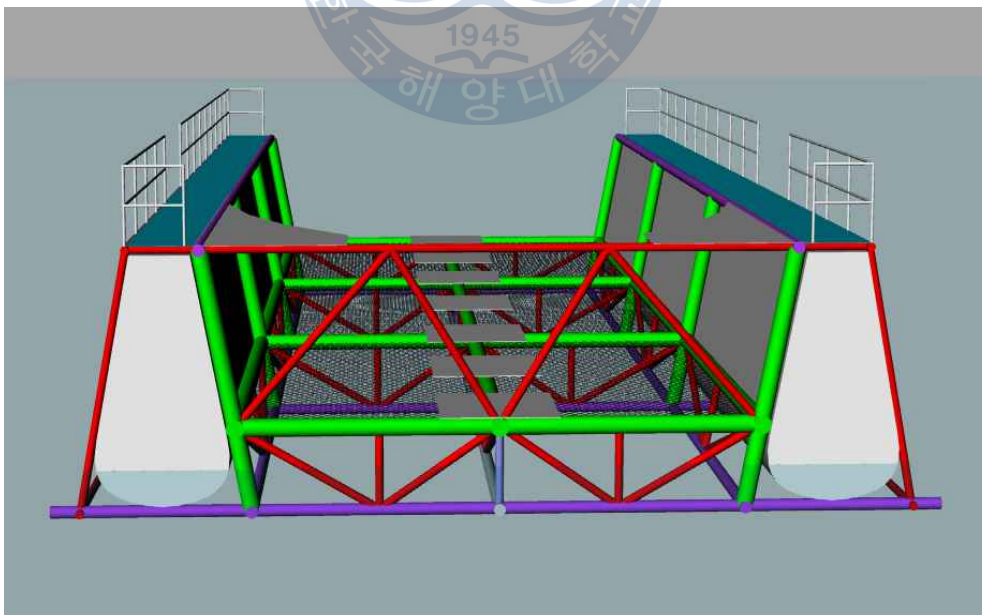


Fig. 2.8 The final floating dock system

2.7 프레임 개념설계

연안 선박 유지 보수용 소형 플로팅 도크시스템은 전장이 12m, 폭은 좌우 끝 단길이 약 7.44m의 크기로 상당히 큰 구조물이다. 따라서 전체를 일체형으로 제작하기에는 문제가 있고 이동의 어려움 등 이 발생할 수 있으므로 전체를 총 10등분하여 제작 할 수 있도록 개념설계를 수행하였다.

플로팅 도크시스템의 구조는 개념설계에서 완성된 3D 모델링과 크게 달라진 점은 없지만, 일체형 형태로의 제작 시에 비해 분할된 구조물의 경우 구조적 강도 문제가 발생할 수 있다. 따라서 이를 보완하기 위해 취약 예상 부분에 대해 추가 보강설계를 수행하였다.

프레임의 분할은 프레임 제작 작업의 용이성 측면에서 최대한 많은 부분으로 분할하는 것이 작업성이 유리할 수 있다. 하지만 너무 많이 분할을 할 경우 잘려진 부분에 접합을 위한 플랜지와 볼트, 너트 등의 조립용 부자재 등이 늘어나 자재비 및 인건비가 증가하게 되며 증가된 만큼의 플로팅 도크시스템의 총 중량이 증가하여 플로팅 도크시스템의 효율성이 떨어지는 문제점이 생겨난다. 반면에 너무 적게 분할하면 연안 선박 유지 보수용 소형 플로팅 도크시스템이 진수될 장소로 이동하기 위해 사용될 차량의 규모 및 크레인의 중량, 분할된 각각의 중량이 무거워 이동과 조립이 매우 어려워지게 된다.

이런 여러 가지 문제점을 분석하여 일반적으로 가장 저렴하게 사용할 수 있는 크레인의 규모와 차량의 규모를 고려하여 전체 10등분으로 분할하여 설계하였다.

분할된 프레임의 조립 작업을 용이 하게 하기 위해 분해 플랜지에 볼트와 너트를 이용하여 조립하는 방법을 적용하였다.

플랜지의 지름은 각각 176mm \varnothing , 201mm \varnothing , 265mm \varnothing 이며, 전체 프레임 파이프의 직경 75mm \varnothing , 100mm \varnothing , 150mm \varnothing 보다 조금 더 큰 크기로 제작하여 분해와 조립의 편의성을 높이도록 하였으며, 사용된 볼트 직경은 22mm \varnothing 의 철재 볼트 및 너트를 사용하여 분할된 프레임을 조립하도록 설계하였다.

프레임의 재질은 대부분이 SS400의 스틸 파이프를 사용하도록 하였기 때문에 플랜지 역시 같은 재질을 사용하여 특수 맞춤 제작 하였다. 절단된 스틸 파이프 끝단은 잉여 부력의 역할을 할 수 있도록 용접에 의해 밀폐시켰으며 용접구간에 대한 수밀 시험을 하여 수밀성을 유지하도록 하였다.

부력탱크 외부의 부력탱크 지지용 프레임은 파이프로 구성되며 비교적 응력이 작게 발생하는 부분이므로 전체 자중을 줄이기 위해 75mm 직경의 파이프 중 스케줄이 가장 작은 파이프를 사용하도록 설계 하였다.

전체길이 12m의 약 1/3지점인 양 끝 약 4m 부분에 수직방향으로 보강하는 보강 구조부재를 설치하여 구조적 안정성을 높이하고자 하였다. 부력탱크 제작의 용이성과 구조안정성을 고려하여 탱크 바닥면의 형상을 가능한 변형시키지 않기로 하고 파이프 분할 위치는 프레임 외각에서 바닥은 약 1400mm되는 지점과, 상부는 약 200mm 지점에 분할 위치를 선정하였다. 또한 부력탱크의 용량 계산을 바탕으로 부력탱크를 감싸는 파이프는 약 80°의 기울기를 주어 제작하기로 하였다. 부력탱크 내부를 감싸는 분할된 구조물은 외각 프레임과는 다르게 구조적으로 많은 응력이 발생될 것을 판단하여 플로팅 도크시스템의 바닥 프레임과, 선박이 안착될 상부 프레임을 길이방향으로는 가장 변형이 작게 발생하는 삼각형 구조로 하고, 폭 방향으로는 조립과 분해의 용이성을 위해 수직 구조로 용접하여 구조적 안전성을 높이기로 하였다. 제일 아랫부분의 바닥은 직경이 100mm \varnothing 의 파이프를 사용하였으며, 선박이 거취되는 상부 바닥은 제일 직경이 큰 150mm \varnothing 의 파이프를 사용하여 구조적 안전성을 높이도록 설계하였다. 부력탱크를 감싸는 내부 프레임 부분에 선박을 계류시키게 되면, 부력탱크에서 생기는 부력과, 선박과 상가 장치의 전체적인 중량에 의한 중심방향으로 모멘트가 작용하게 되기 때문에 이러한 부분을 충분히 고려하여 보강 작업을 수행하도록 설계를 수행하였다. 길이방향으로 생기는 모멘트에 대해서도 충분한 강도를 유지할 수 있도록 설계하였다. 또한 외부를 감싸는 프레임부분과 동일하게 양 끝단으로부터 1/3지점과 약 4m 부분에 수직으로 된 150mm \varnothing 의 파이프를 설치하여 파도에 의한 부력탱크의 운동으로 인한 응력을 이겨낼 수 있도록 충분한 마진을 두고 부재를 배치하였다. 길이방향으로 설치된 삼각형 구조의 보강파이프는 2m 간격으로 75 \varnothing 의 파이프를 보강하여 혹시라도 발생될

수 있는 프레임의 변형을 방지하도록 하였으며, 보강 파이프를 중심으로 양쪽으로 뻗어나가는 약 16° 의 3각형 구조로 설계하여 배치하였다.

응력이 가장 많이 작용하는 중앙 부분은 구조적 안전성을 고려하여 혹시라도 발생될 변형 및 피로파괴의 위험을 최소화 하도록 설계를 수행하였다. 이 부분 역시 상부는 150 \varnothing 의 파이프를 사용하였으며 바닥은 100mm \varnothing , 보강 부재는 75mm \varnothing 직경의 파이프를 이용하였다.

초기에는 상가시스템의 전체 중량을 최소화하기 위해 중심에 보강부재를 사용하지 않으려고 하였으나, 구조 해석 결과 이 부분에 많은 응력이 발생하는 것으로 결과가 나타나 길이 방향과 폭 방향으로 삼각형 구조의 형상을 하도록 하여 구조적 안전성을 고려하여 설계하였다.

삼각형 형상을 하는 보강 구조물은 전체길이 12m의 끝단에서 1/3지점까지는 약 16° 의 경사를 주어 설치하였으며, 전체 길이 12m 2/3지점은 연결 플랜지의 설치와 구조적 특징을 고려하여 16° 보다 큰 약 20° 정도의 기울기를 가지도록 하고, 보강제가 끝나는 부분에 추가적으로 수직으로 75mm \varnothing 파이프를 설치하여 응력에 의한 변형을 방지하고자 하였다.

앞서 설계된 기본 부력 탱크 지지용 프레임 구조물의 조립방법에 변경에 따라서 부력탱크의 세부형상(프레임과 부력 탱크의 접합부의 간섭 방지)의 설계를 수행하였다. 프레임 설계와 제작 및 조립 방법을 서술한 곳에서도 간단하게 언급 되었지만, 최대한 상가시스템의 부력탱크의 형상을 변형시키지 않는 범위에서 프레임의 분해 조립도를 작성하였다. 프레임 분해 및 조립 시 작업의 용이성을 위해 볼트 연결 가능하도록 플랜지를 설치하였다.

부력 탱크의 형상 변경은 대부분이 프레임 연결용 플랜지가 설치되는 곳의 형상이 변경되어 수정되었다, 조립과 분해 시 시간을 줄이고 작업 용이성을 높이기 위해 플랜지가 연결되는 부위에 지름 약 200mm 정도의 홈 형상을 제작하여 파도 및 바람에 의해 플로팅 도크시스템의 횡·종 동요로 인한 FRP부력 탱크와 플랜지부의 충돌에 의한 시스템의 파손을 방지하도록 설계 변경을 하였다.

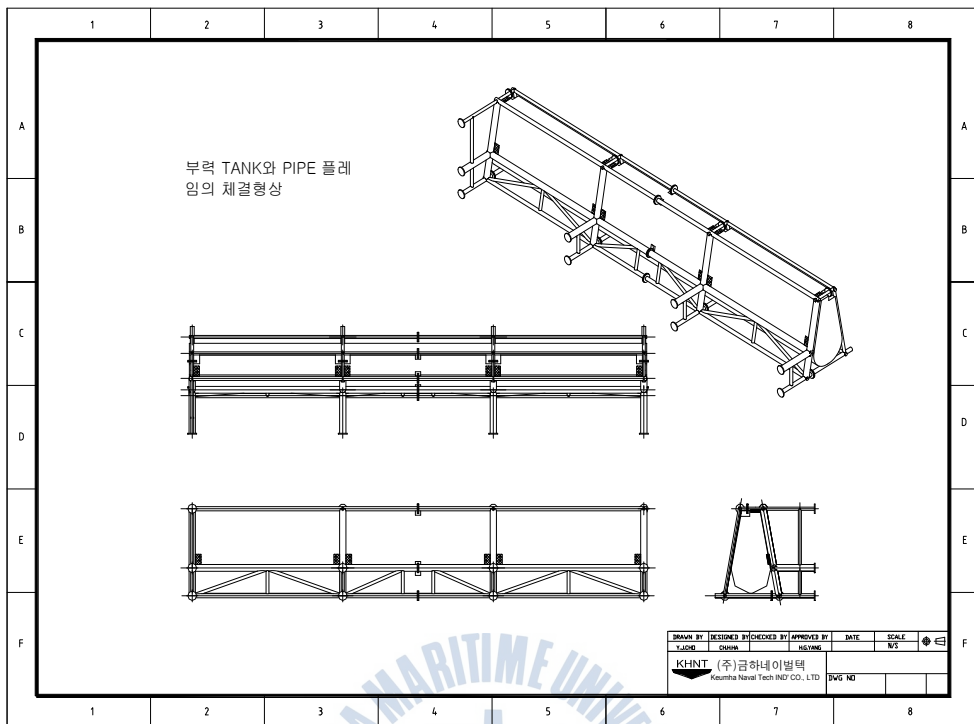


Fig. 2.9 Buoyancy tank 3D view

뿐만 아니라 부력탱크와 프레임의 고정 시 부력탱크와 프레임간의 이동 및 간섭을 최소화하기 위해 부력탱크를 고정시켜주는 철재 플레이트를 추가 설치하여 프레임에 고정하도록 설계 변경하였다. Fig 2.9은 최종설계 반영된 부력탱크와 메인 프레임의 결합 형상을 보여주고 있다.

제 3 장 플로팅 도크시스템 구조 해석

3.1 플로팅 도크시스템 프레임 구조 해석

플로팅 도크시스템의 프레임이 받게 되는 하중에 대한 구조적 안전성을 확인하기 위하여 기본 설계된 프레임 형상에 대한 구조 해석을 수행하기로 하여 Fig. 3.1과 같이 대상 프레임 구조에 대한 FEM용 모델을 생성하였다. FEM해석에 사용된 프로그램은 미국 ALGOR사에서 만든 ALGOR라는 소프트웨어를 사용하였다. 구조 해석을 위해 소형선박 유지 보수용 소형 플로팅 도크시스템의 특성을 고려하여 연결부는 각 조건에 알맞은 결속 조건을 적용하였다. 이를 위해 사용된 강관의 외경과 내경, 재질은 다음의 Table 3.2와 같이 외경 70 ~ 150mm, 내경 50 ~ 124mm인 이음매없는 파이프로 가정했으며, 적용된 스틸 파이프 재질은 Table 3.1과 같이 KS D 3566-99를 적용하였다

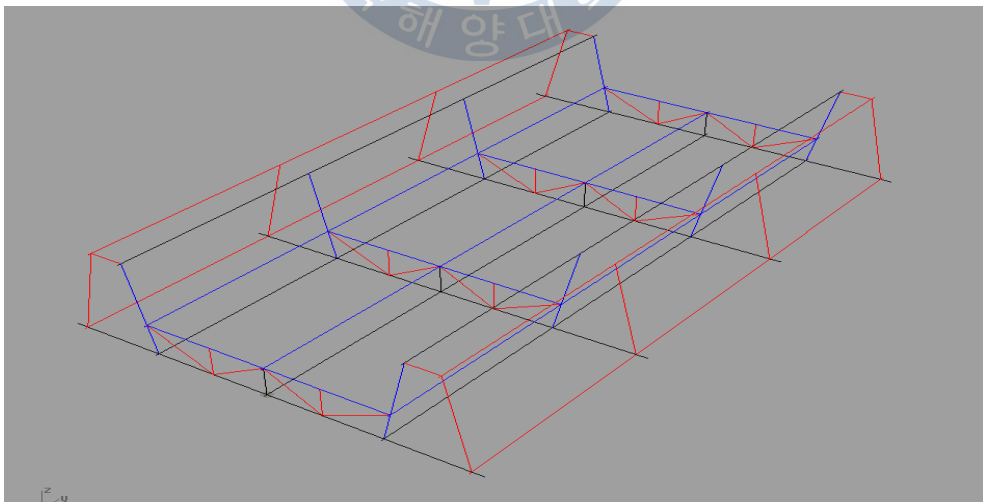


Fig. 3.1 FEM analysis frame model

Table 3.1 Steel pipes characteristics of frame

외경(mm)	내경(mm)	재질
150	124	SS400, KS D 3566-99
100	84	SS400, KS D 3566-99
70	50	SS400, KS D 3566-99

Table 3.2 The material properties of the steel pipe

Yield Strength	230 MPa (230 N/mm ²)
Modulus of Elasticity	140 GPa
Poisson' s Ratio	0.25
Shear Modulus of Elasticity	80GPa

설계하중은 Fig. 3.2와 같이 수리 대상선박 자중 5톤을 길이방향의 분포하중으로 적용하였으며, 플로팅 도크시스템 자중 5톤을 양쪽 지지부에 길이방향으로 분포하중을 적용하여 전체 10톤의 하중을 고려 적용하였다.

구조물은 수면에 부양된 적용하기 상태이므로 구조물의 경계조건은 회전구속은 적용하지 않고, 변위에 대해서만 다음 Table 3.3과 같이 총 5가지의 구속조건을 설정하여 진행했다. 설정된 총 5가지의 경우에 대해 해석한 후 조건에 따라 부재에 최고 변위와 최대 하중이 작용하는 경우를 선정하여 구조적 안정성을 확보하기 위해 구조 해석을 하였다.

또한 구조적으로 취약한 부분에 대해선 추가 부재를 보강하여 부족한 강성을 보상하여 최종 프레임에 대해 구조적 안정성을 확보하였다.

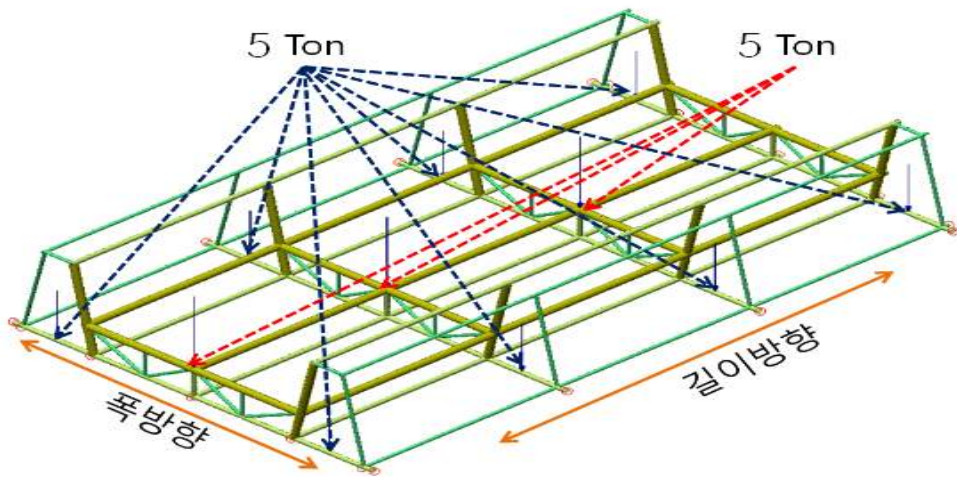


Fig. 3.2 Constraints and the applied load frame section

Table 3.3 Frame boundary conditions

case	Longitudinal direction	Transverse direction
case 1	X, Y, Z	Z
case 2	X, Y, Z	X, Y
case 3	Z	X, Y, Z
case 4	X, Y	X, Y, Z
case 5	X, Y, Z	X, Y, Z

3.2 프레임의 구조 해석결과

해석한 결과를 정리하면 다음의 Table 3.4과 같다. 축방향 응력은 길이 방향이나 폭 방향의 Z방향만을 구속하였을 경우 높게 나왔고, worst stress는 구속이 많은 상황에서 발생되었다. 변위는 Fig. 3.3과 같이 부력탱크를 지지하는 부분에서 발생한 것으로 보강재 추가를 통해 변위를 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 이들 중 주축 방향의 높은 축방향 응력을 보인 case 1과 worst stress가 높은 case 5를 선택하여 구조 해석을 수행하도록 한다.

수행한 총 5가지 경우의 구조 해석 결과는 다음과 같다.

Table 3.4 Case analysis result of the frame

case	boundary onditions		axial stress (MPa)	worst stress (MPa)	displacement (mm)
	Longitudinal direction	Transverse direction			
case 1	X, Y, Z	Z	14.18	119.75	20.13
case 2	X, Y, Z	X, Y	9.05	127.04	20.16
case 3	Z	X, Y, Z	14.18	119.75	20.14
case 4	X, Y	X, Y, Z	9.05	127.04	20.16
case 5	X, Y, Z	X, Y, Z	9.05	127.04	20.16

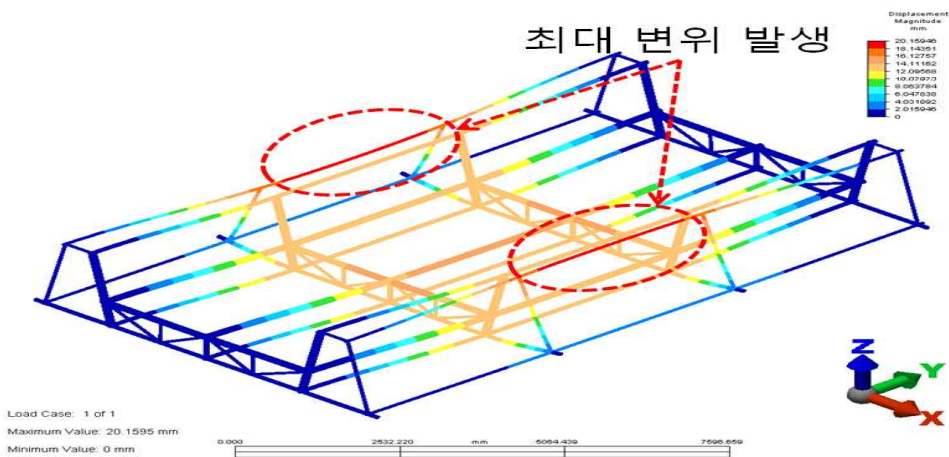


Fig. 3.3 Point of maximum displacement

case 1은 구속조건으로 길이방향으로 X, Y, Z 방향 변위 고정하고 폭 방향 Z 방향 변위 고정된 경우이다. 해석결과 axial stress는 $-8.01\text{MPa} \sim 14.18\text{MPa}$ 이고 worst stress는 $-108.79\text{MPa} \sim 119.75\text{MPa}$ 이며 변위는 20.13 mm 이다.

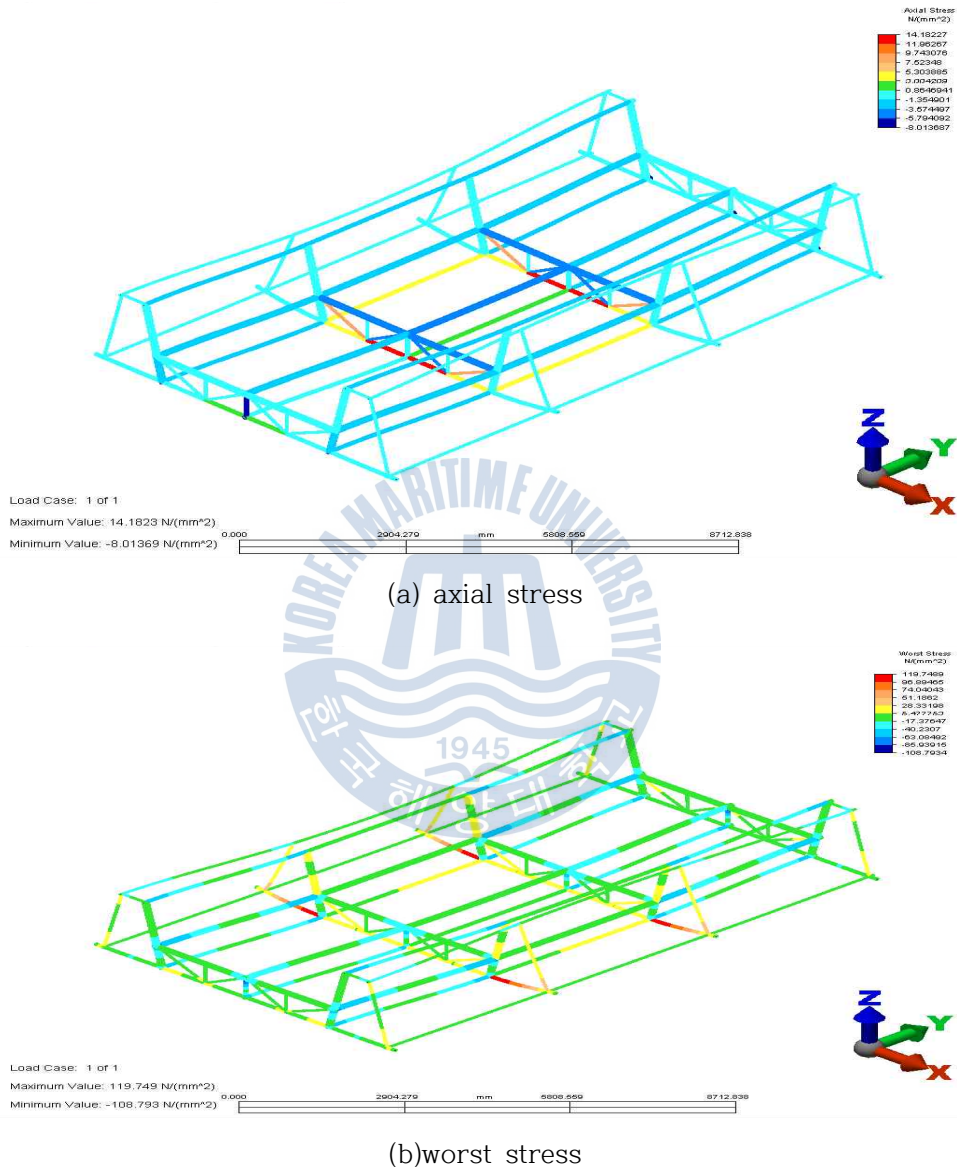


Fig. 3.4 The results of stress analysis

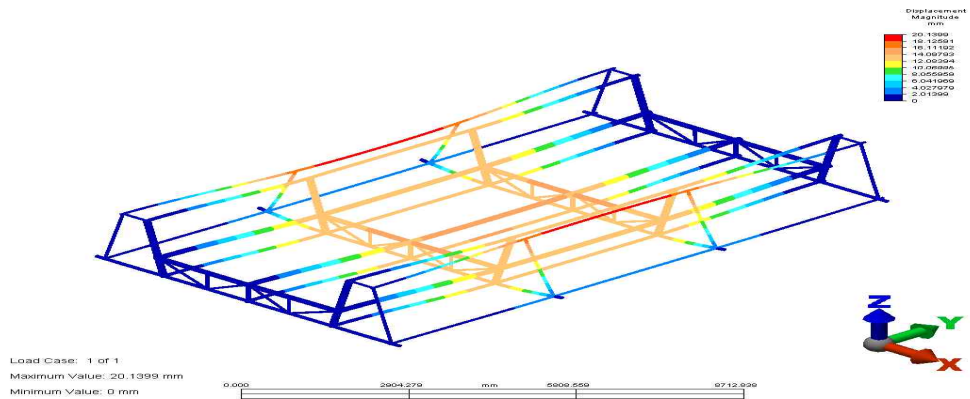
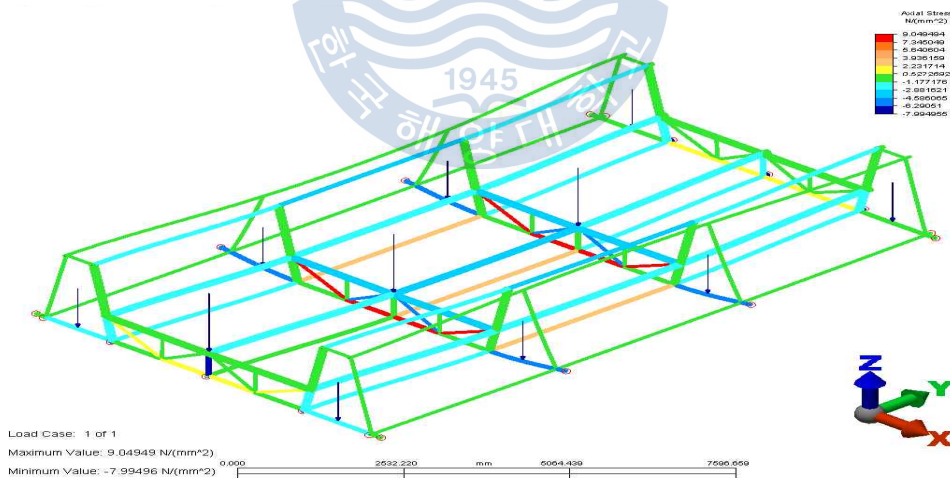
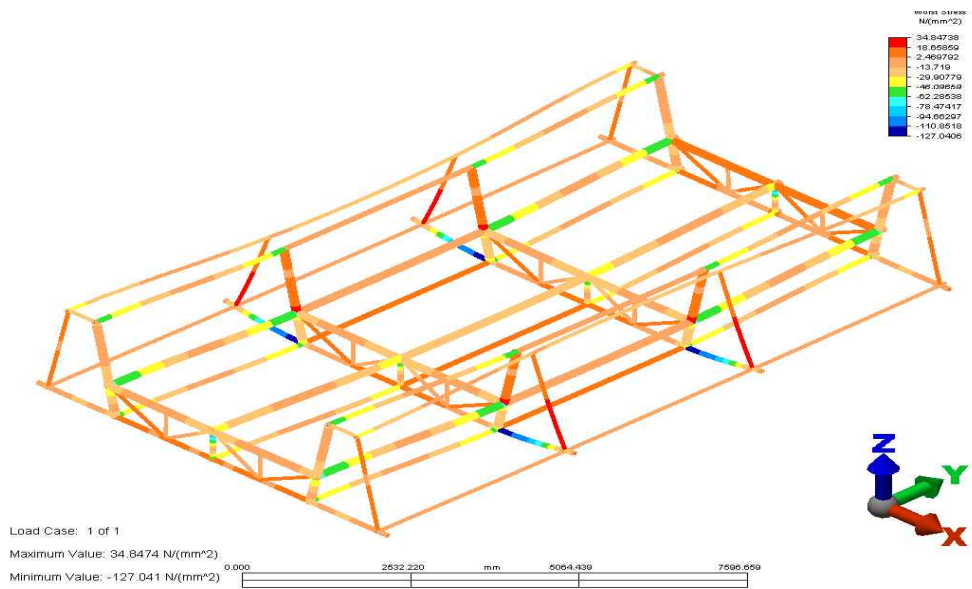


Fig. 3.5 Displacement analysis (20.13mm)

case 2 은 구속 조건으로 길이 방향으로 X, Y, Z 방향 변위 고정하고 폭 방향으로 X, Y 방향 변위 고정한 경우이다. 해석 결과 axial stress : $-7.99\text{MPa} \sim 9.05\text{MPa}$ 이고, worst stress : $-127.04\text{MPa} \sim 34.85\text{MPa}$ 이며 변위는 20.116 mm 이다.



(a) axial stress



(b)worst stress

Fig. 3.6 The results of stress analysis

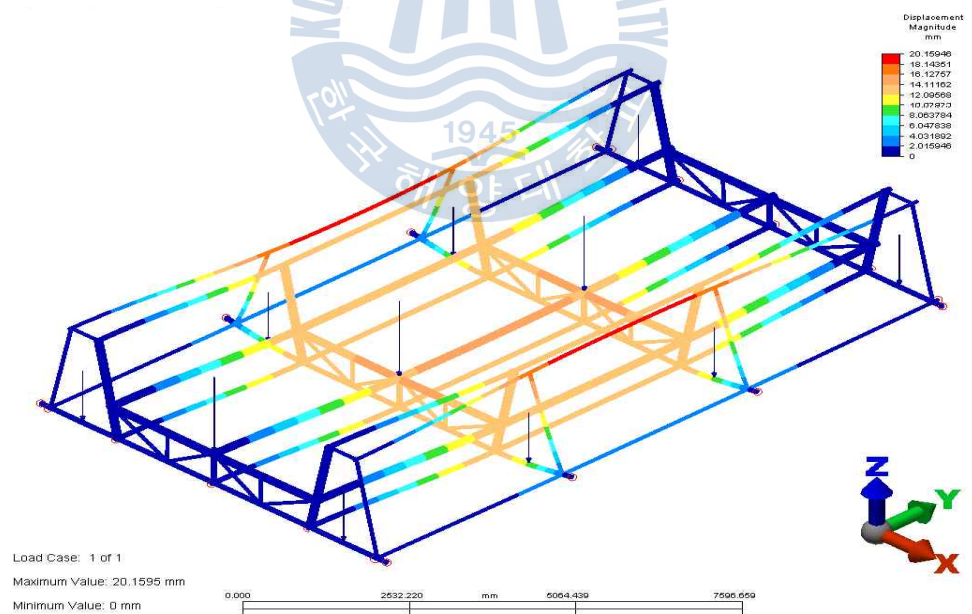


Fig. 3.7 Displacement analysis (20.16mm)

case 3은 구속 조건으로 길이 방향 : Z 방향 변위 고정하고 폭 방향 : X, Y, Z 방향 변위 고정된 경우이다. 해석 결과 axial stress : $-8.01\text{MPa} \sim 14.18\text{MPa}$ 이고 worst stress는 $-108.79\text{MPa} \sim 119.75\text{MPa}$ 이며 변위는 20.14 mm 이다.

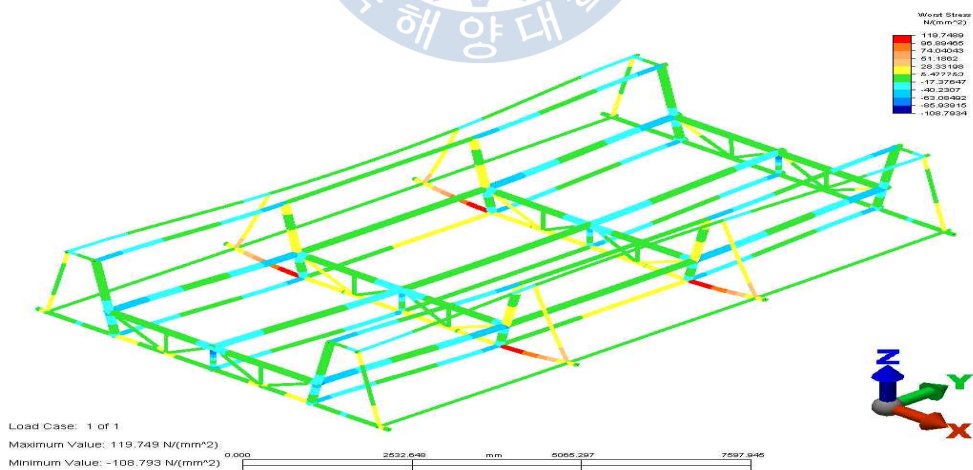
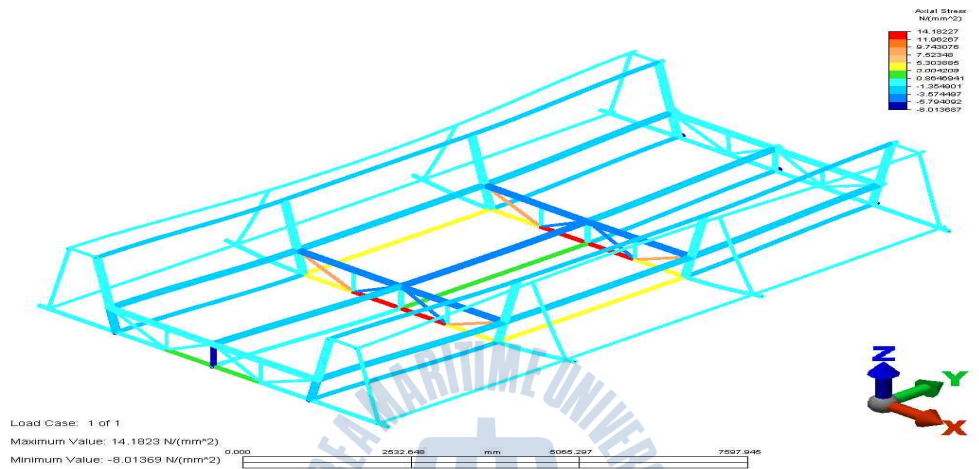


Fig. 3.8 The results of stress analysis

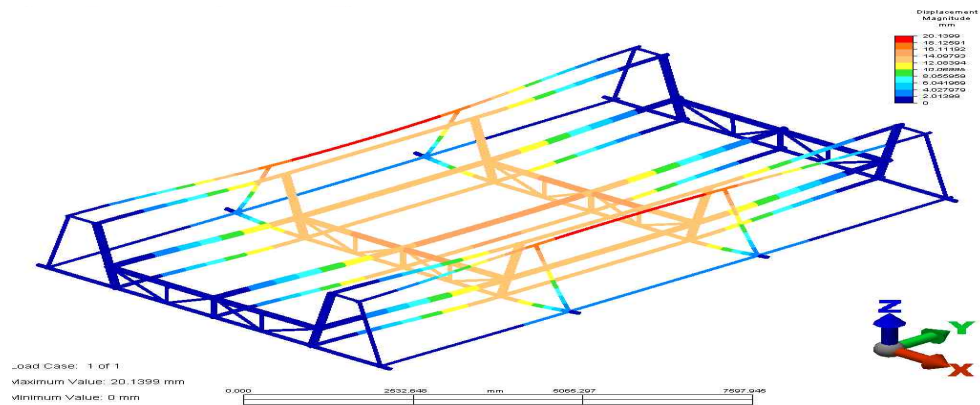
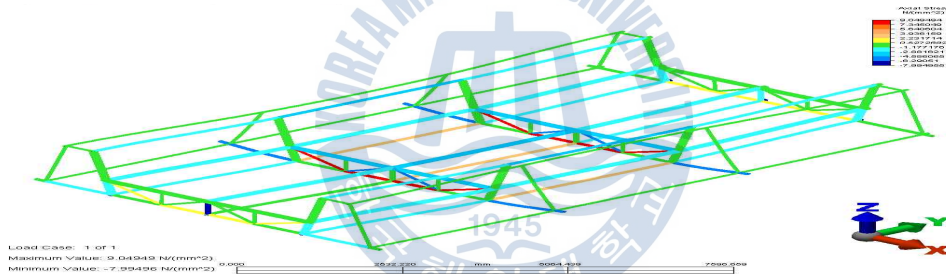
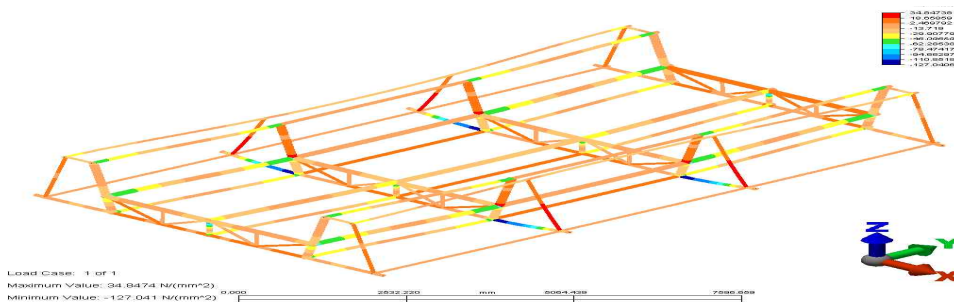


Fig. 3.9 Displacement analysis (20.14mm)

case 4은 구속 조건으로 길이 방향으로 X, Y 방향 변위 고정하고, 폭 방향 X, Y, Z 방향 변위 고정된 경우이다. 해석 결과 axial stress는 $-7.99\text{MPa} \sim 9.05\text{MPa}$ 이고 worst stress는 $-127.04\text{MPa} \sim 34.85\text{MPa}$ 이며 변위는 20.16 mm 이다.



(a) axial stress



(b) worst stress

Fig. 3.10 The results of stress analysis

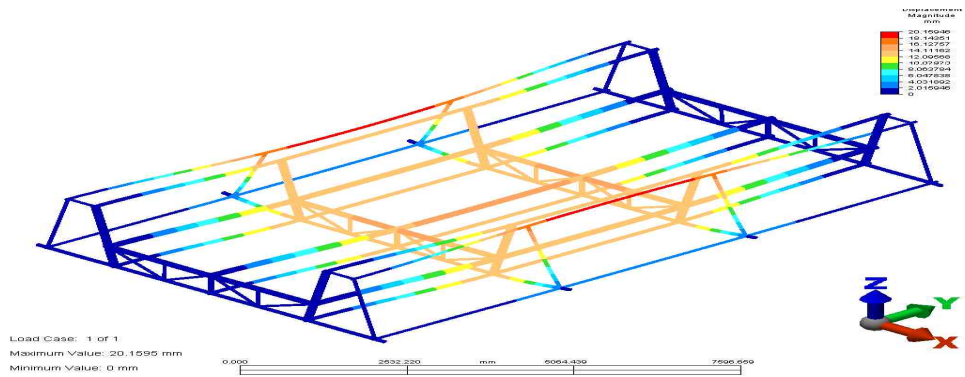
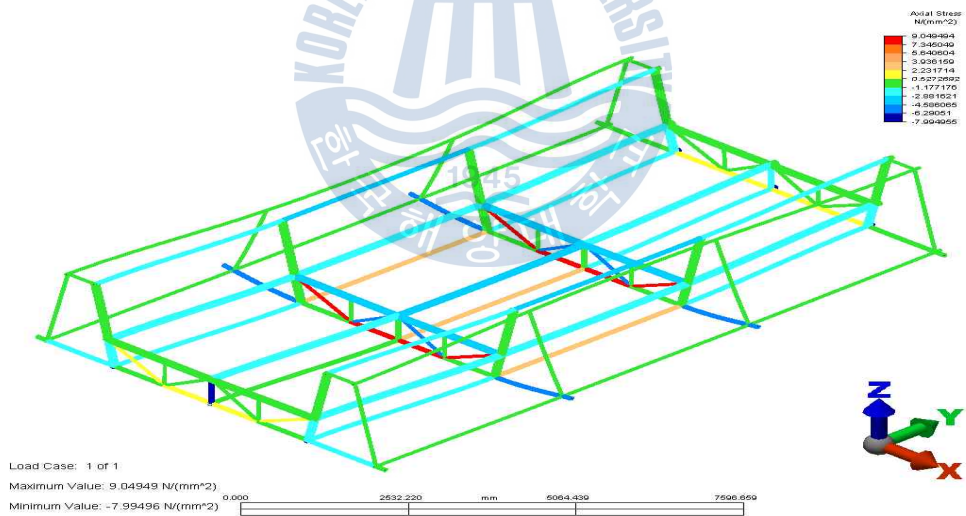
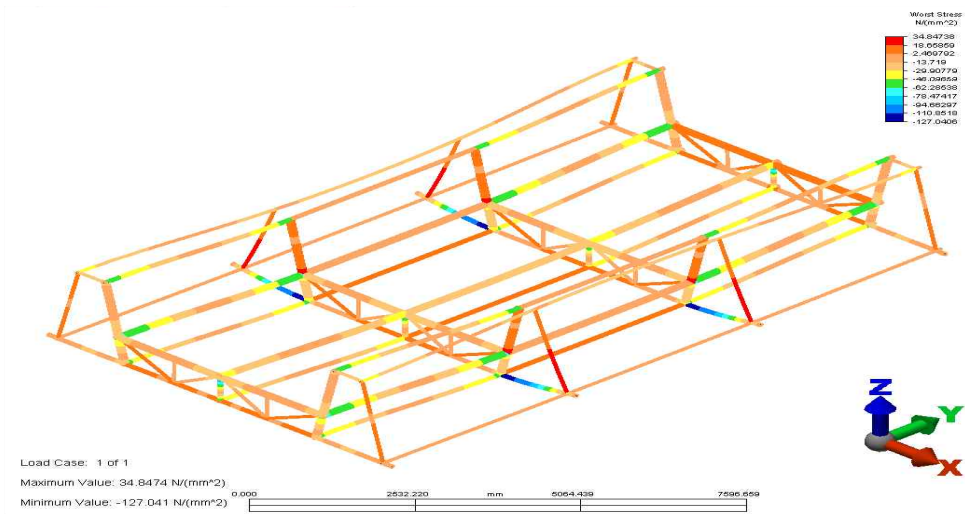


Fig. 3.11 Displacement analysis (20.16mm)

case 5은 구속 조건으로 길이 방향 X, Y, Z 방향 변위 고정하고 폭 방향은 X, Y, Z 방향 변위 고정된 경우이다. 해석 결과 axial stress는 -7.99MPa ~ 9.05MPa 이고 worst stress는 -127.04MPa ~ 34.85MPa 이며 변위는 20.16 mm 이다.



(a) axial stress



(b) worst stress

Fig. 3.12 The results of stress analysis

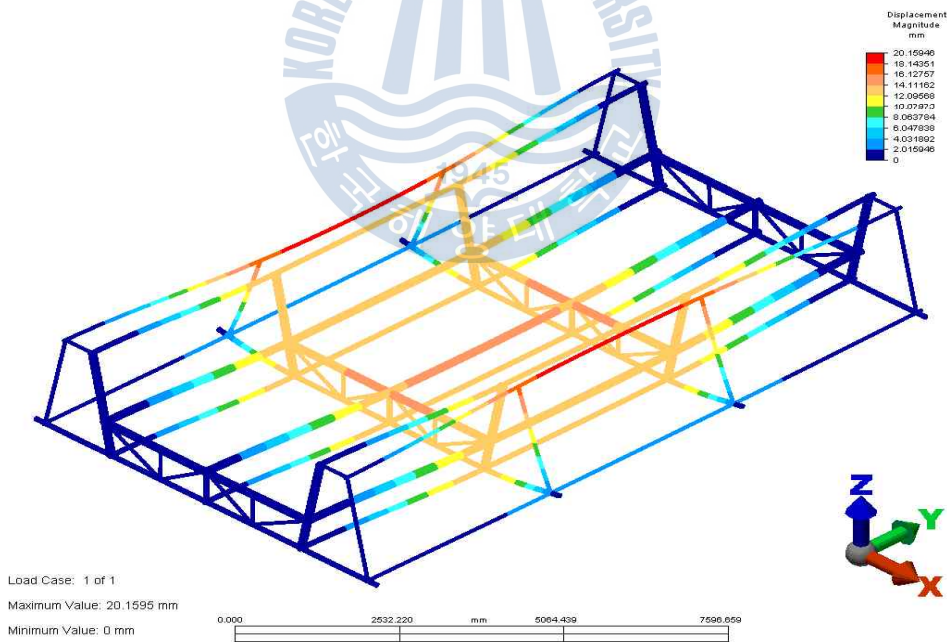


Fig. 3.13 Displacement analysis (20.16mm)

3.3 구조 보강후 프레임의 해석결과

앞서 해석된 결과를 바탕으로 Fig. 3.14와 같이 보강재를 추가하였다. 부력탱크를 지지하는 부분과 길이 방향의 보강재를 추가하여 구조적 안정성을 높일 수 있도록 하였다.

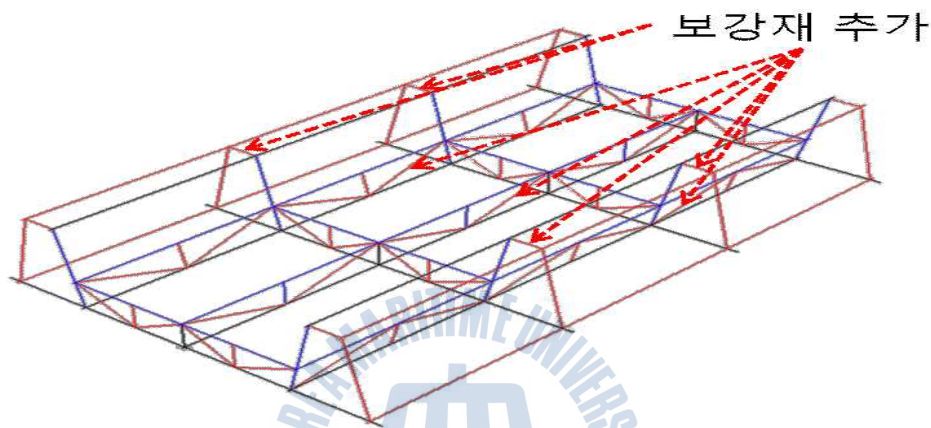


Fig. 3.14 Additional reinforcement frame

해석에 사용된 강관의 재료와 크기는 앞서 설정한 것과 동일한 것을 사용하였다. 하중 조건 역시 앞서 해석한 방법과 동일한 방법을 적용하였으며, 경계조건은 앞서 해석한 결과를 바탕으로 case 1과 case 5의 두가지 경우에 대해서만 해석을 수행하였다. 다음 Table 3.5는 해석을 위해 설정한 경계조건이다.

Table 3.5 Frame boundary condition

case	Longitudinal direction	Transverse direction	Weight
case 1	X, Y, Z	Z	X
case 2	X, Y, Z	X, Y, Z	X
case 3	X, Y, Z	X, Y, Z	O

구조 보강 후 해석된 결과를 Table 3-6과 같이 정리하였다. 결과를 살펴보면, 자중을 고려한 case 3이 가장 높은 응력을 보여주고 있다. 재료의 허용응력이 230MPa이므로 안전율은 2.7로 구조적으로 안전하다고 판단된다. 다음의 Fig. 3.15 는 결정된 플로팅 도크시스템의 프레임 형상이다.

Table 3.6 Result of calculation type

case	boundary onditions			axial stress (MPa)	worst stress (MPa)	displacement (mm)
	Longitudinal direction	Transverse direction	Weight			
case 1	x, y, z	z	x	15.01	49.01	4.87
case 2	x, y, z	x, y, z	x	14.97	48.69	4.80
case 3	x, y, z	x, y, z	o	25.24	85.29	6.69

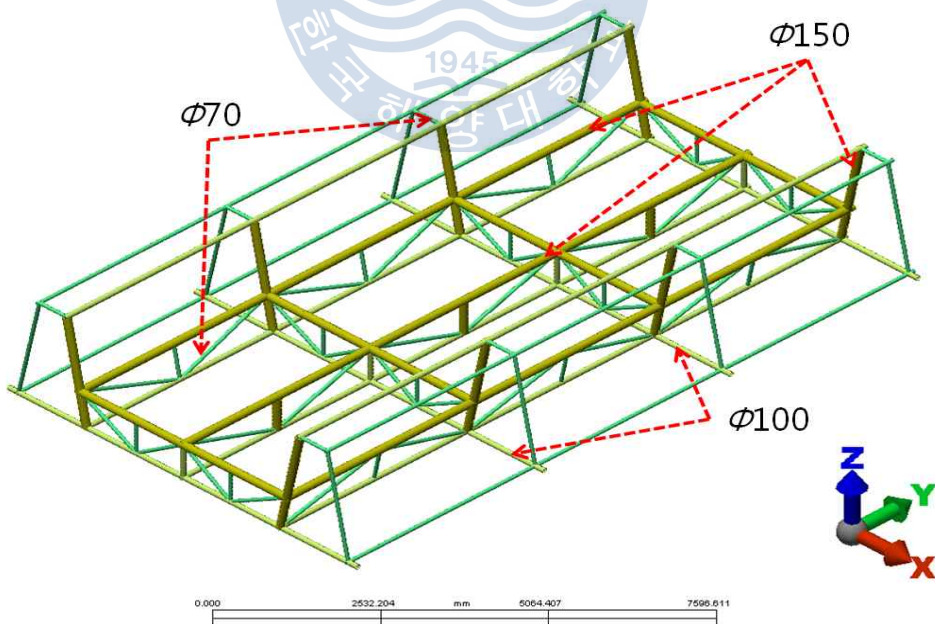


Fig. 3.15 Floating dock frame

case 1은 구속 조건으로 길이 방향으로 X, Y, Z 방향 변위 고정하고 폭 방향은 Z 방향 변위 고정된 경우이다. 해석 결과 axial stress는 -15.01MPa to 13.16MPa이고 worst stress는 -49.01MPa to 32.26MPa이며 변위는 4.87 mm이다.

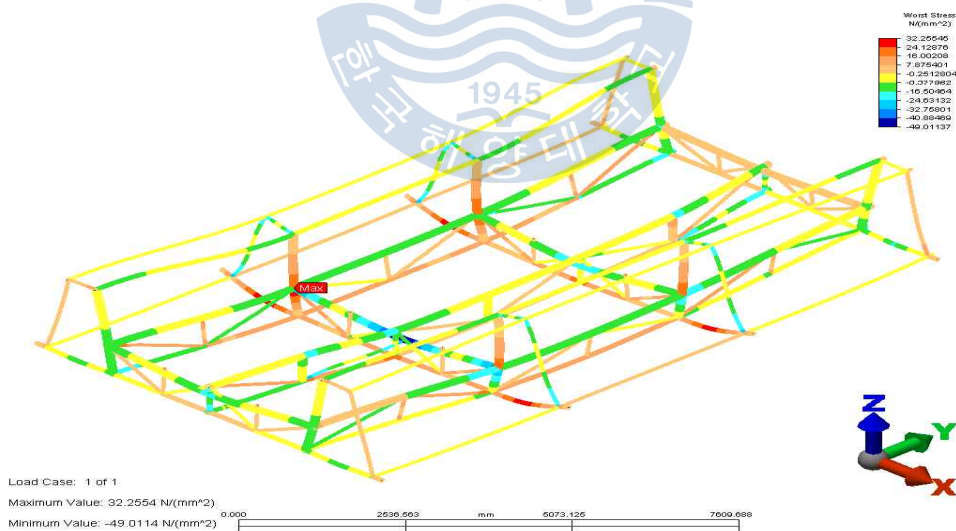
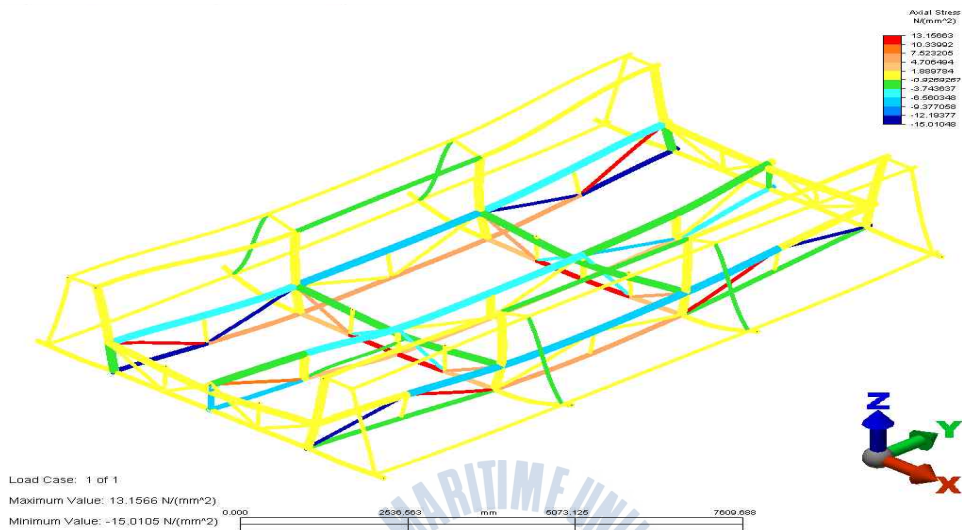


Fig. 3.16 The results of stress analysis

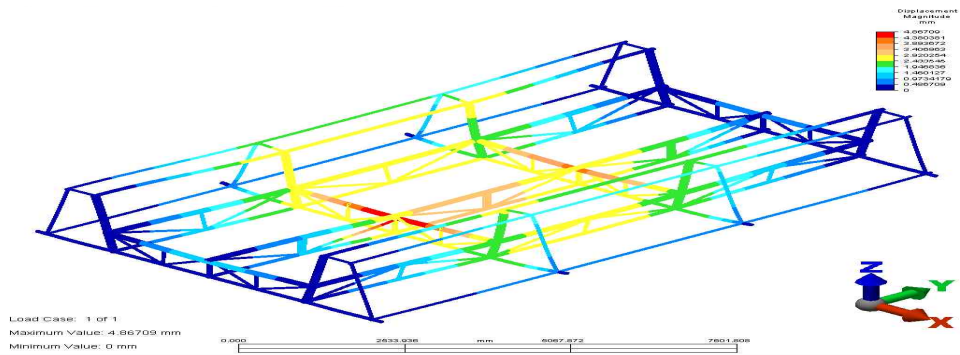
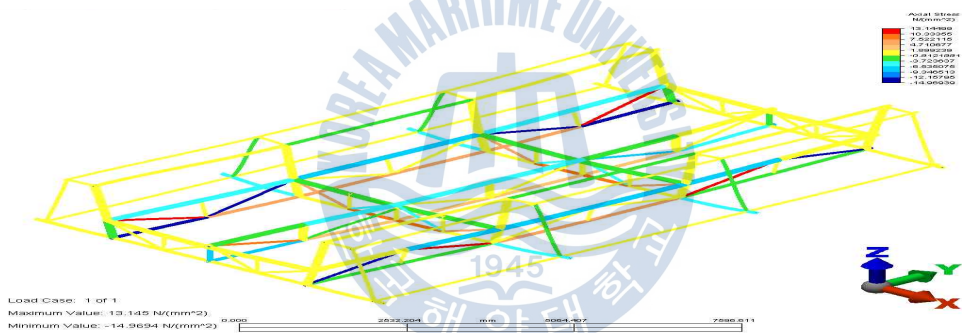
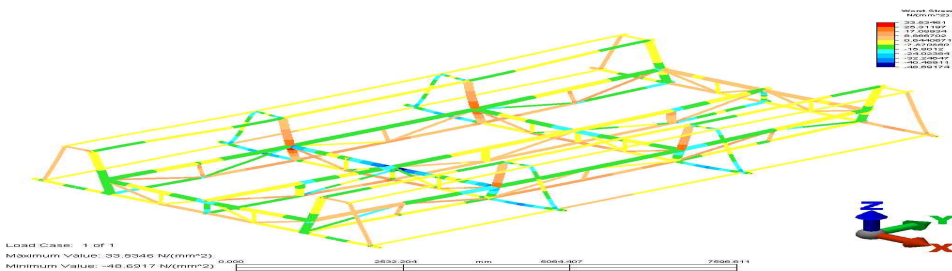


Fig. 3.17 Displacement analysis (4.87mm)

case 2은 구속 조건으로 길이 방향으로 X, Y, Z 방향 변위 고정하고 폭 방향 X, Y, Z 방향 변위 고정된 경우이다. 해석 결과 axial stress는 -14.97MPa to 13.15MPa이고 worst stress는 -48.69MPa to 33.53MPa 이며 변위는 4.80 mm이다.



(a) axial stress



(b) worst stress

Fig. 3.18 The results of stress analysis

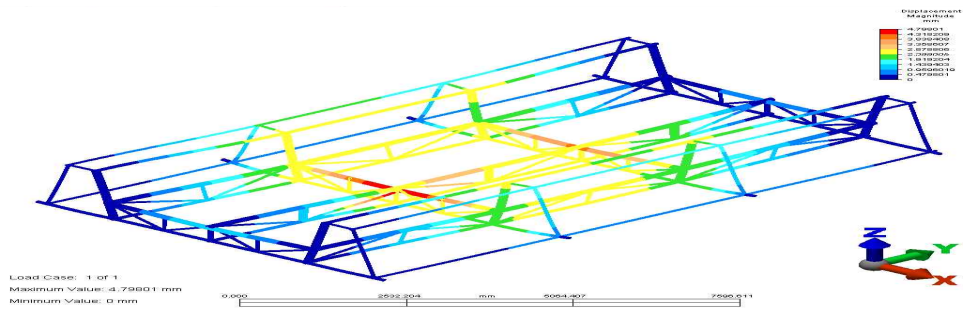
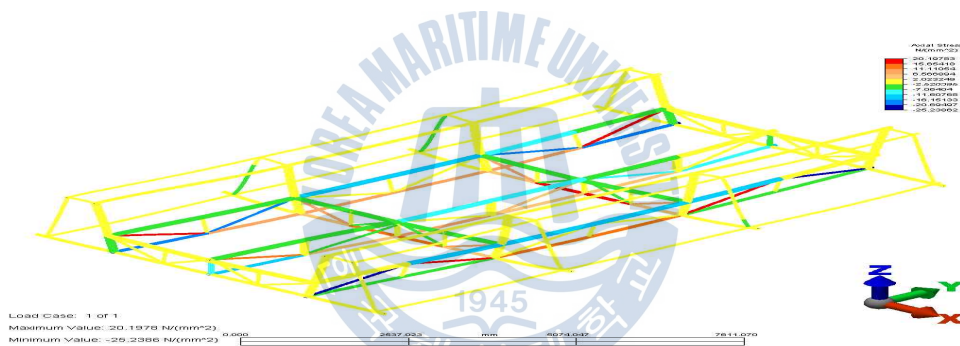
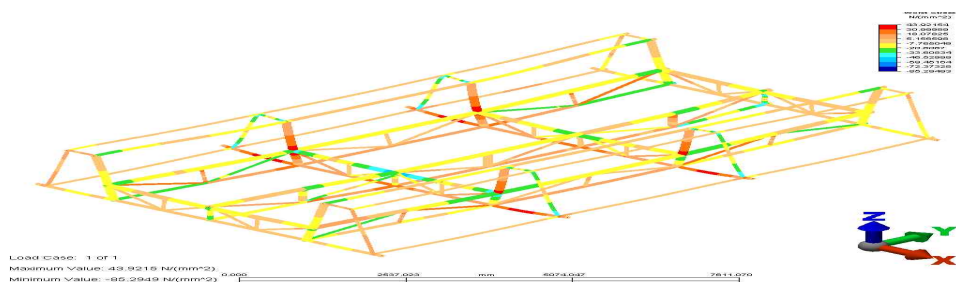


Fig. 3.19 Displacement analysis (4.80mm)

case 3은 구속 조건으로 길이 방향으로 X, Y, Z 방향 변위 고정하고 폭 방향 X, Y, Z 방향 변위 고정하고 자중을 고려한 경우이다. 해석 결과는 axial stress는 -25.24MPa to 20.20MPa이고 worst stress는 -85.29MPa to 3.92MPa이며 변위는 6.69 mm이다.



(a) axial stress



(b)worst stress

Fig. 3.20 The results of stress analysis

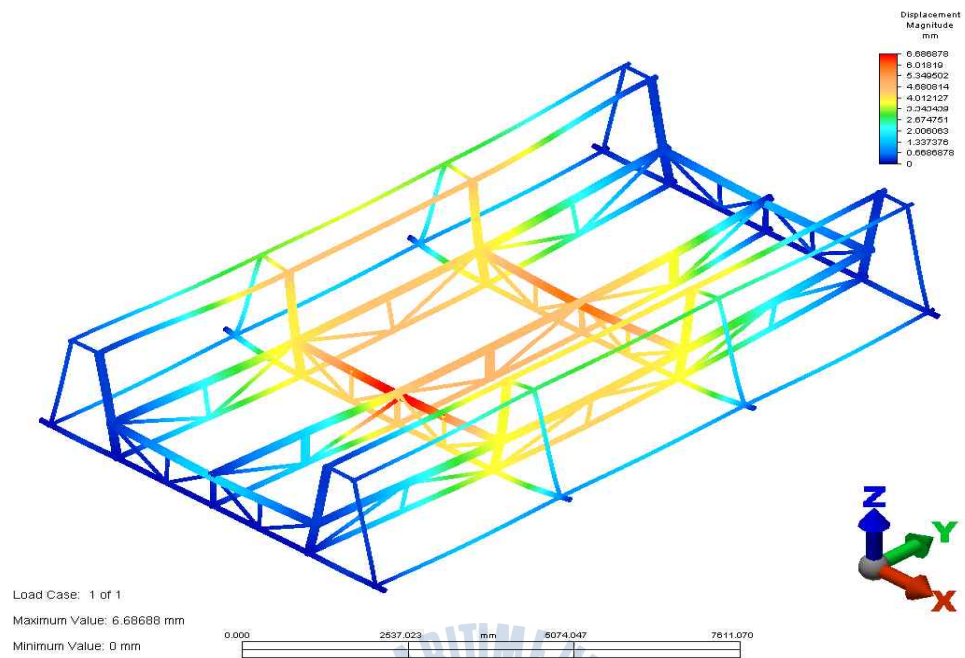
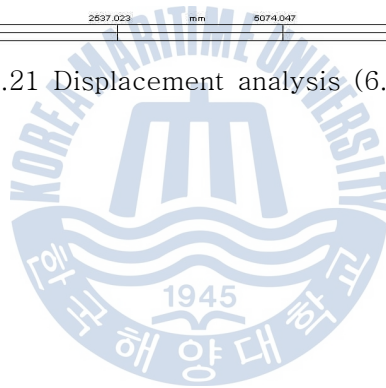


Fig. 3.21 Displacement analysis (6.69mm)



3.4 플로팅 도크시스템 부력탱크 구조 해석

부력탱크의 구조 해석을 위하여 Fig. 3.22과 같이 유한요소법(FEM)용 모델을 생성하였다. 평균 mesh 크기는 0.055712 m이며, 21,802개의 엘리먼트(element)로 구성되어 있다. 해석을 위해 적용한 엘리먼트형은 plate/shell을 사용하였으며, shell의 두께는 7mm로 설정하였다. 적용된 재료의 특성은 Table 3.7와 같이 적용하였다.

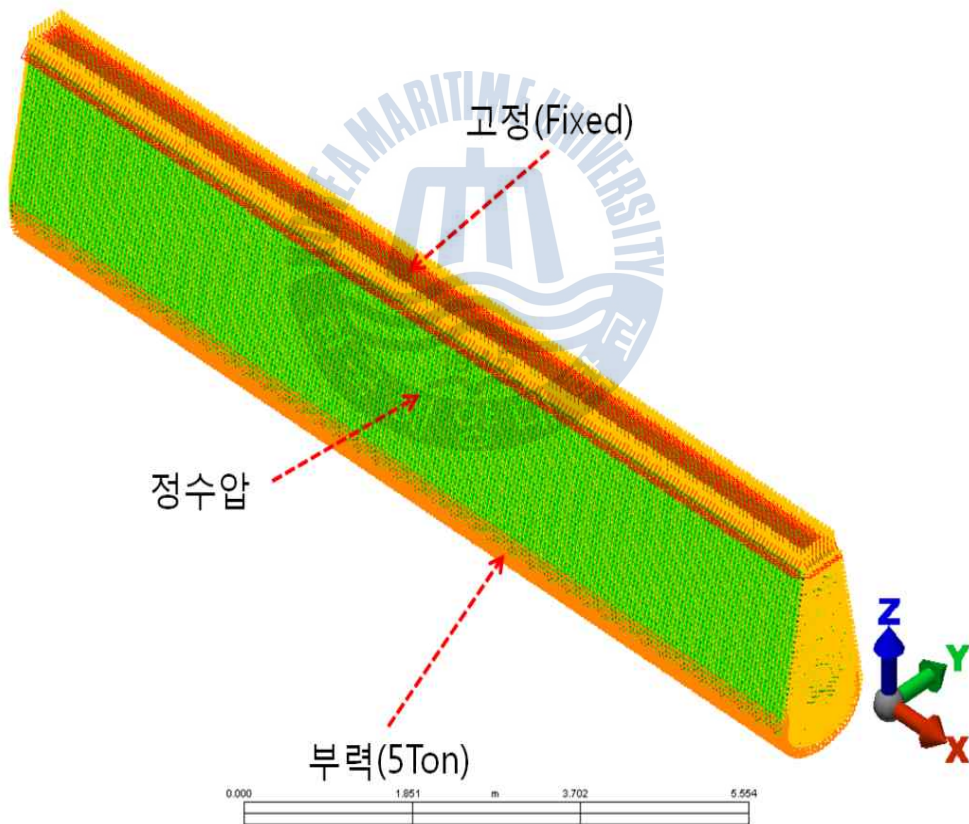


Fig. 3.22 Finite Element Method (FEM) model for analysis constraints and the applied load

Table 3.7 FRP material properties

Ultimate strength	3310 MPa
Modulus of elasticity	68.9 GPa
Poisson's ratio	0.183
Shear modulus	29.1 GPa

수중에 잠긴 부분과 자중을 고려하여 다음의 Fig. 3.22과 같이 구속 경계 조건을 적용하여 설정하였다. 수중에 잠긴 부분의 홀수는 탱크의 최저점을 기선(Base Line)으로 하여 상부 방향으로 높이 1.0m로 설정하였다. 부력은 선박과 플로팅 도크시스템의 무게인 10Ton으로 설정하였다. 10ton의 부력d 플로팅 도크 양쪽 부분에 작용되므로 한쪽의 부력 탱크에 대해서는 5Ton의 부력이 작용하는 것으로 설정하였다.

부력탱크 상부는 고정(fixed)조건을 주어 부력에 의한 탱크의 변위 및 응력해석을 진행하였다.

부력탱크의 FRP의 두께는 7mm로 설정하였으며, 이 경우 최대 응력이 0.11MPa로 구조적으로 안정적인 것으로 판단된다. Fig. 3.23 및 Fig. 3.24는 각각 응력 결과 Von Mises stress 0.112193 MPa와 부력탱크의 변위 0.00487721 mm 를 보여주고 있다.

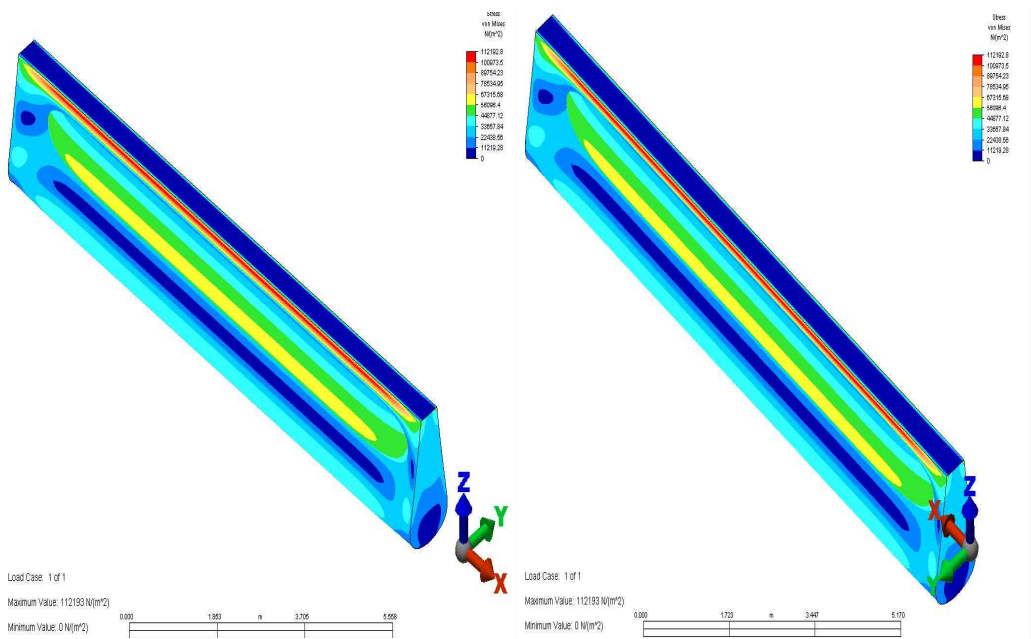


Fig. 3.23 The results of stress analysis

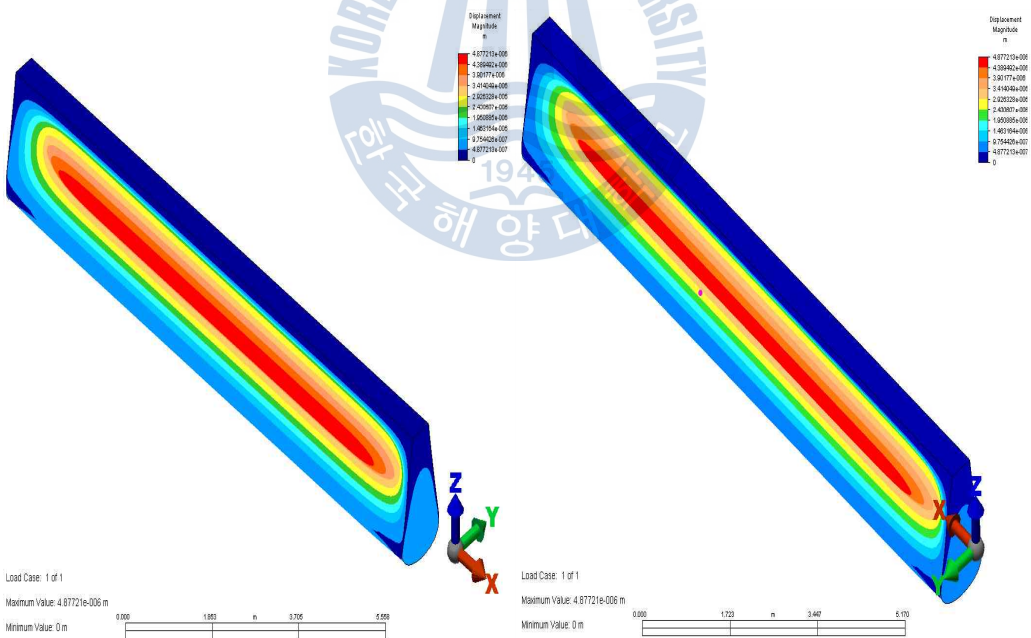


Fig. 3.24 Displacement analysis (0.005mm)

제 4 장 플로팅 도크시스템 모형실험

4.1 실험 조건

소형선박 유지·보수 플로팅 도크시스템의 부력탱크 용량 검증을 위한 모형 시험에 사용될 대상모형은 최종 설계된 형상의 선도 및 개략도면을 기본으로 하여 축척비를 1/10로 축소시켜 모형을 제작하였다. 부력탱크의 재질은 실물과 같은 재질인 FRP로 제작하였으며, 실제 플로팅 도크시스템의 프레임 구조물은 파이프 형태로 일반 라운드바(round bar) 및 파이프를 사용하여 모형을 제작하였다. 이러한 이유로 초기 설계 시 계산되었던 플로팅 도크시스템 모형의 중량이 증가하는 현상이 발생하였으나 성능 시험에 영향을 미칠 정도의 증가량이 아니므로 제작된 모형을 근거로 하여 성능 시험을 수행하였다.

플로팅 상가 부력성능 모형시험에 사용된 대상모형의 주요제원은 Table 4.1과 같으며 Fig. 4.1은 대상 모형의 사진이다.

Table 4.1 The main specifications of the target model floating dock system

particulars	actual	model	비 고
L.O.A (m)	12.00	1.200	1/10
B (m)	7.44	0.744	1/10
D (m)	2.12	0.212	1/10

4.2 모형시험 장치

총톤수 5톤 미만 소형선박의 보수·유지·관리용 플로팅 도크시스템 부력탱크의 부력성능 추정을 위하여 중소조선연구원 회류수조에서 모형시험을 수행하였다. Fig. 4.2은 모형시험 설비를 보여주고 있다.

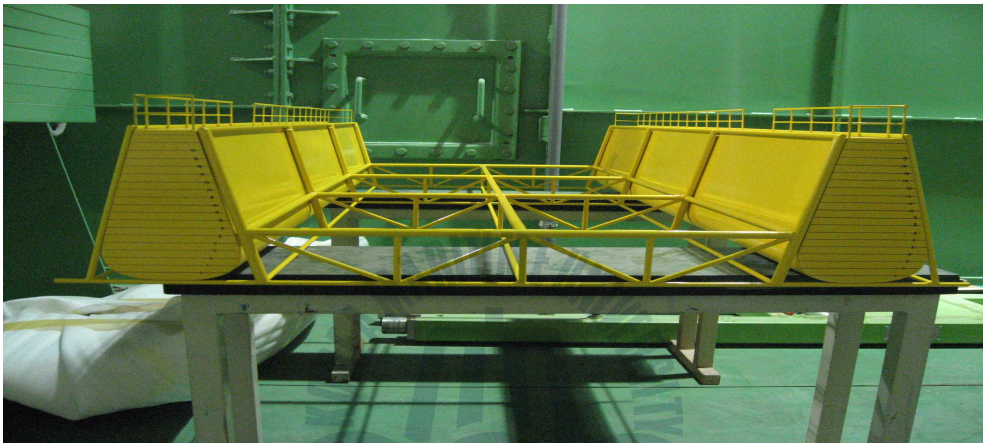


Fig. 4.1 Model tested models



Fig. 4.2 Model test facility

4.3 실험 방법

플로팅 도크시스템 부력탱크의 부력성능을 추정하기 위하여 플로팅 도크 자체중량, 유지, 보수 대상선박의 최대중량일 때의 흘수를 계측하여 그 결과를 실선의 스케일 비로 변환하여 그 결과를 비교하기로 하였다.

제작된 모형의 초기 계획은 상가시스템 자중만 약 5톤 규모로 산정하여 전체적인 설계를 수행하였고 실제로 제작된 모형은 실제 플로팅상가장치의 무게로 환산하면 5톤 정도의 규모 모형선의 무게로는 5kg의 정도의 규모가 되도록 제작하였다.

모형시험 방법은 유지, 보수 대상 선박의 최대 규모인 5톤급 미만의 실적선을 조사하여, 최대 흘수를 약 1m정도로 결정하였으며 선박이 안착되는 위치(부력탱크 바닥에서)흘수인 0.6m에서 1.6m까지의 부력탱크 부력상태를 확인, 검증하도록 하였다.

그리고 부력상태 확인 및 검증을 위하여 부력탱크에 부력조절 청수를 유입시키는 방법으로 부력탱크의 흘수변화를 관찰하였다. 부력탱크의 청수 유입으로 인한 흘수 변화에 대한 측정을 용이하도록 하기 위해서 부력 탱크 전면부에 1cm 간격으로 눈금을 표기하여 시험 결과를 눈으로 확인할 수 있도록 하였다.

먼저 모형의 자중에 의한 흘수범위를 계측하기 위해 부력탱크에 부력조절 청수를 주입하지 않은 상태에서 모형을 흘수를 측정하였다. 그리고 실제 선박이 상가할 수 있는 흘수인 1m에 해당하는 흘수인 모형의 10cm흘수에 해당하는 청수를 주입한다. 그리고 부력탱크의 청수를 모두 제거한 후 모형시험선박과 모형 플로팅 도크시스템의 무게에 해당하는 흘수를 측정하였다.

모형 부력탱크에 유입 청수량에 따른 부력탱크 흘수변화와 그에 따른 플로팅 도크시스템의 배수용적, 배수량 및 침수표면적을 Table 4.2에 나타내었다.

Table 4.2 Floating dock system, model test results table

particulars		actual	model	Notes
Weight	Boat weight	5(ton)	0.005(ton)	0.005(ton)
	Frame weight	5ton	0.005ton	0.005(ton)
L.O.A (m)		12.00	1.200	-
B (m)		7.44	0.744	-
D (m)		2.12	0.2.12	-
d (m) exclusion ship		0.2	0.02	0.041
d (m) with ship		0.45	0.045	0.061
Required draft of the draft 1m boat		1.6	0.16	0.17
exclusion ship S (m ²)		27.523	0.27523	-
with ship S (m ²)		96.3	0.963	-
exclusion ship ∇		3.49 (m ³)	0.00349 (m ³)	0.008934 (m ³)
with ship ∇		10.2623 (m ³)	0.01026 (m ³)	0.014141 (m ³)
1m draft ship displacement \triangle (1.000 ton/m ³)		36.0527 (ton)	0.0360527 (ton)	Fresh water
1m draft ship displacement \triangle (1.025 ton/m ³)		36.9540 (ton)	0.036954017 (ton)	Sea water

4.4 모형실험 분석 및 고찰

모형시험 결과를 보면 플로팅 도크시스템의 자체중량 5톤(대상모형은 5kg)일 때의 흘수는 약 0.4m이다. Fig. 4.3은 자체중량 적용 플로팅 도크시스템의 계산된 흘수를 나타내고, Fig. 4.4는 모형 시험 시 실제 흘수 모습을 보여주고 있으며 계산에 의한 값과 동일한 결과를 얻을 수 있다.

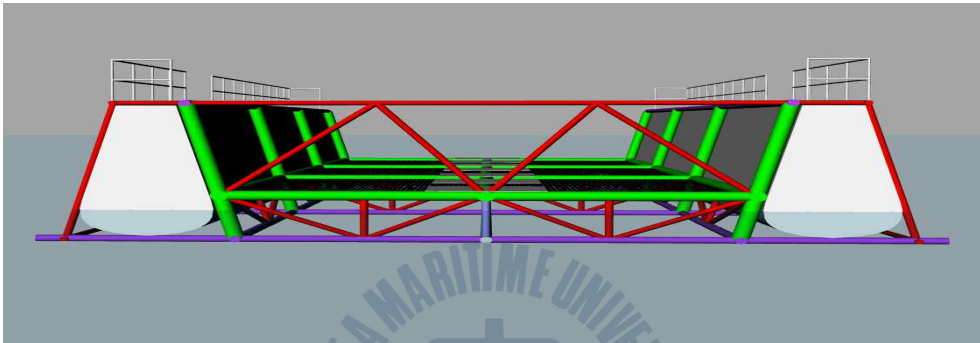


Fig. 4.3 The draft result of the calculation



Fig. 4.4 The draft results of model tests

또한, 개발대상 플로팅 도크시스템에서 수리되는 5톤급 미만 소형선박의 최대중량은 10톤으로 추정하여 시제품 대비 모형의 중량을 밸러스트용 추(weight) 조절하였을 때의 플로팅 도크 흘수는 0.6m로 측정되었다. 이는 플로팅 도크 바닥에서 선박이 안착되는 위치 흘수인 0.6m와 동일하지만, 본 실험에서는 계획한 플로팅 도크에 사용가능한 최대중량 선박을 모형대상 선박으로 사용하였으

므로 대상선박 이하의 선박에서는 대부분의 유지, 보수를 위한 계류, 안착이 가능할 것으로 사료된다. Fig. 4.5 및 Fig. 4.6는 설계흘수와 모형시험 시 흘수가 동일함을 보여주고 있다.

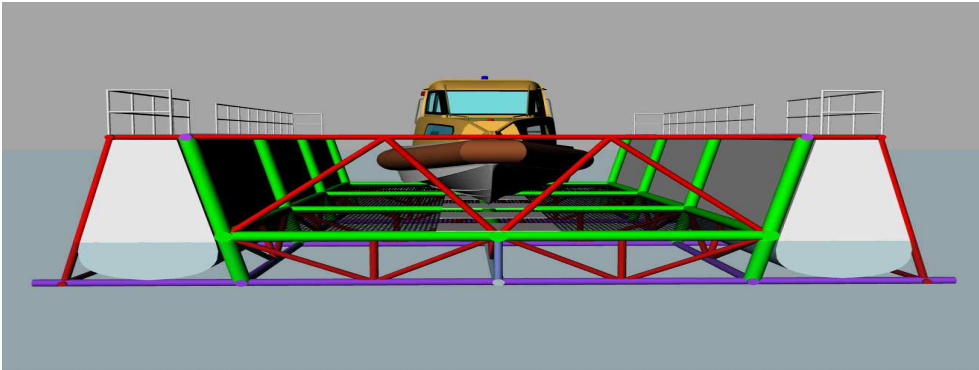


Fig. 4.5 The draft of ship grounding



Fig. 4.6 Model test results by self weight

5톤급 미만 선박에서 전장이 10m미만인 소형선박의 최대 흘수를 약 1m로 추정하였을 때 플로팅 도크의 흘수는 대상선박이 거취되는 위치에서 1m이면 충분할 것으로 계산되며, 이때 필요한 부력탱크 유입수의 용적은 실험결과 약 30m^3 의 유입수가 필요한 것으로 확인되었다. Fig. 4.7는 모형선박 유입 시 플로팅 도크 흘수를 나타내고 있으며 Fig. 4.8은 모형선박 유입 시 플로팅 도크 전체 형상을 보여준다.

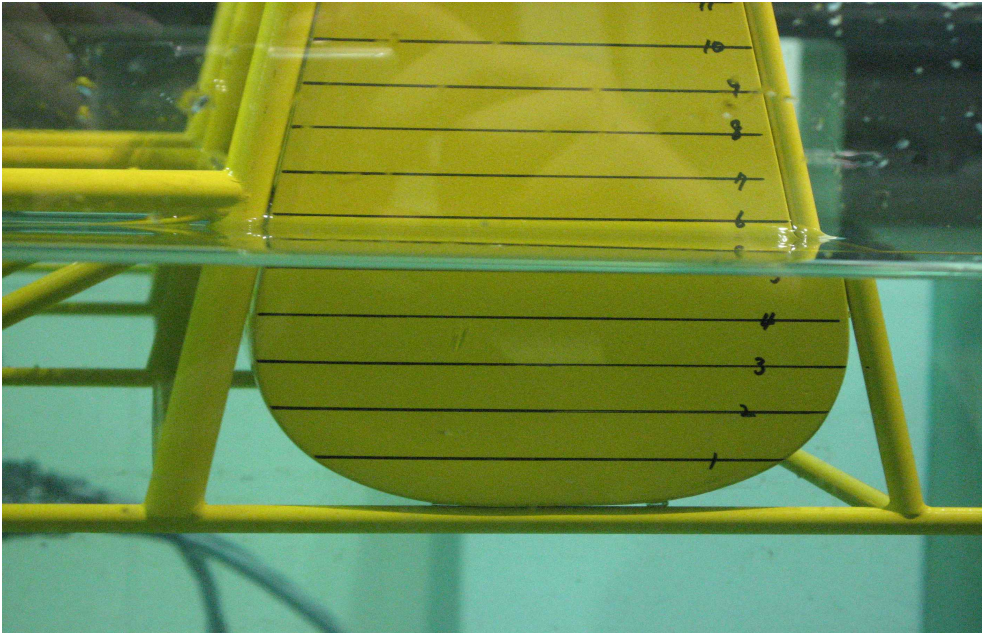


Fig. 4.7 Draft of model test

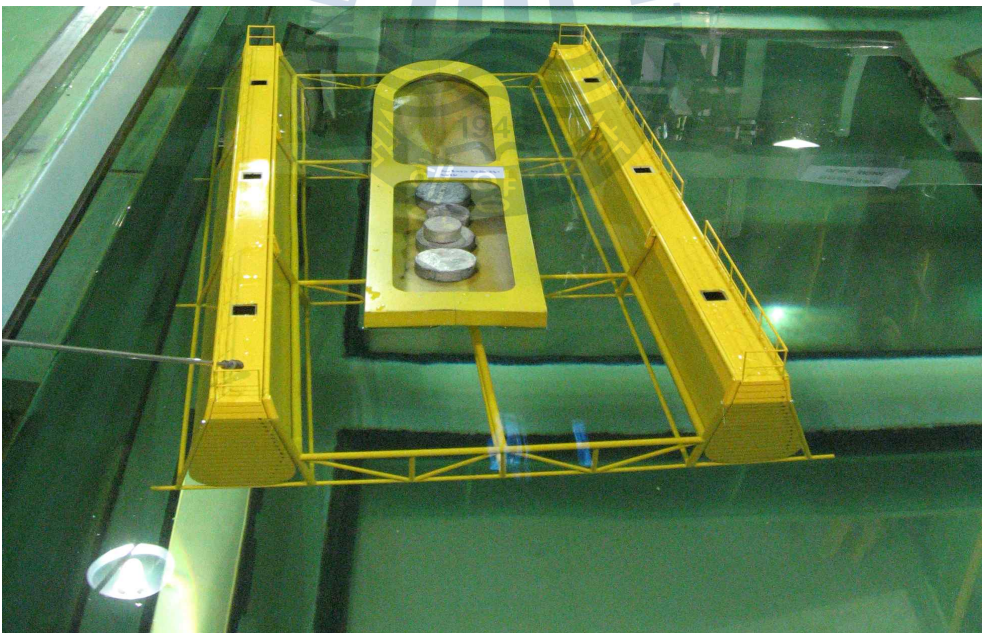


Fig. 4.8 Shape of model test

제 5 장 플로팅 도크시스템 해상실험

5.1 부력탱크 제작

본 장에서는 모형시험에 의한 결과 값과 실제 12m급 플로팅 도크시스템의 성능에 대한 검증을 위해 시제품을 제작하였으며 제작의 편의를 고려하여 크게 두부분으로 (부력탱크 부와 프레임 부) 분리하여 제작하였다. 시제품의 건조공정별 건조공법을 다음과 같다.

몰드는 FRP 제품이 생산성, 표면 정도 등 제품의 품질을 결정하는 매우 중요한 부분으로 FRP 부력탱크 제작공정은 Fig 5.1과 같으며 몰드제작 공정은 아래와 같다.

- (1) 현도 제작 : 설계도면을 토대로 각 스테이션(station) 별로 1:1도면 출력
- (2) 프레임 제작 : 현도를 토대로 판재로 프레임 제작
- (3) 프레임 취부 : 각 스테이션 별로 프레임 취부
- (4) 외판 취부 : 합판을 프레임 위에 덧씌워 외판을 제작
- (5) 왁스 및 이형제 처리 : 왁스로 몰드에 광택작업을 수행하고 탈형이 용이하도록 이형제 처리
- (6) 적층작업 : mat와 roving을 번갈아 적층
- (7) 기포제거 : 적층 작업 시 발생할 수 있는 기포제거
- (8) 몰드 보강 작업 : 몰드의 변형을 방지하기 위한 보강재 작업
- (9) 몰드 탈형 작업 : 크레인을 이용 적층면과 몰드를 분리

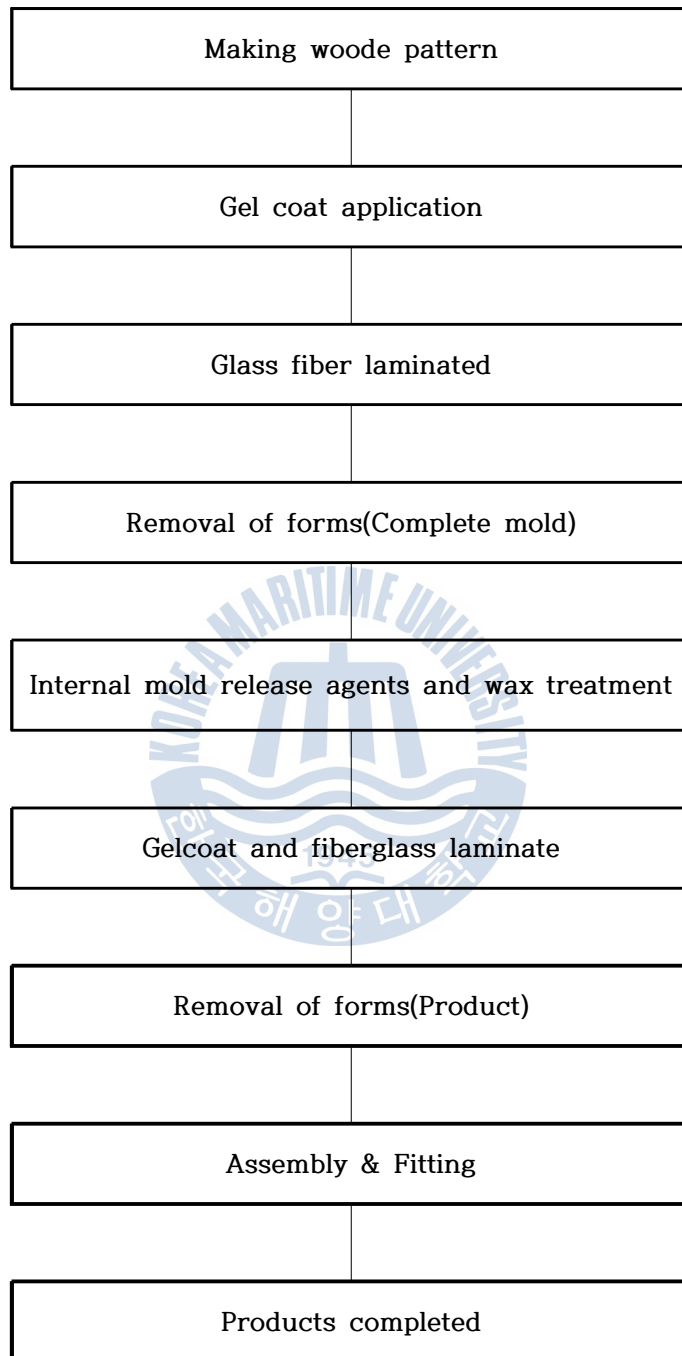


Fig. 5.1 Buoyancy tank production process

몰드가 완성이 되면 플로팅 탱크 제작을 위해 적층작업을 하게 된다. 부력탱크의 적층은 공정과 작업의 편의성을 고려하여 탱크의 좌우 몰드로 나누어 각각 제작하도록 하였다. 이와 같은 효율적인 제작공정은 시제품과 같이 단판구조인 경우에 유리한 공법으로 강도, 중량 등의 구조적인 이점과 공수 절감 면에서 유리하다.

Fig. 5.3는 적층 재료들의 재단과 재단된 재료들을 이용하여 부력탱크 형상을 적층하고 있는 모습을 보여주고 있다. 부력탱크 적층작업을 하기에 앞서, 몰드 제작 시 탈형과 제품 품질을 좋게 하기 위하여 왁스 및 이형제(mold release) 처리를 수행한다. 왁스 및 이형제(mold release) 처리는 몰드 제작과정에서 수행했던 방법으로 재작업을 수행한다.



Fig. 5.2 Forming of buoyancy tank



Fig. 5.3 Cutting and laminated

5.2 플로팅 도크시스템 프레임 제작

연안 선박 유지·보수용 소형 플로팅 도크시스템 프레임 제작은 크게 부재 선정 및 절단, 취부, 제관, 용접, 전처리, 가조립, 분해, 도장, 조립 순으로 나누어 진행하였다.

전장이 12m로 길어 보통 화물 차량에 탑재하여 이동하기가 어렵고, 제작 전 부재들의 규모가 거대하여 제작에 따른 크레인의 용량 제한, 이동 및 조립에 드는 부대비용의 부담이 커질 것으로 예상하여 전체를 10등분으로 나누어 제작하도록 설계하였다.

Fig. 5.4는 제품의 조립 및 이동의 편의를 위해 설계가 변경된 상가시스템의 프레임에 대한 기본 개념도를 보여주고 있다.

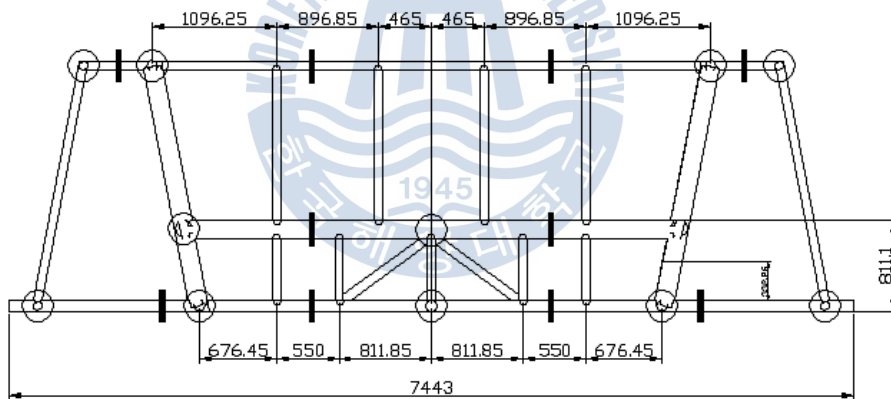


Fig. 5.4 Drawings of frame parts

프레임 제작에 사용된 주요 부재는 이음매없는(seamless) 파이프로 대부분이 구성되며, 부력탱크를 프레임과 고정시키기 위해 철재 목재 받침, 철재 난간, 부력탱크 상부 이동통로용 철조망 등 기타 철재 의장품으로 구성 하였다. Fig. 5.5은 연안 선박 유지 보수용 소형 플로팅 도크시스템의 프레임 제작에 사용된 재료들의 사진을 보여주고 있다.



Fig. 5.5 Raw material for frame

제작에 사용된 파이프 및 목재, 기타 부재 재단 및 취부는 생산도면 상에 나와 있는 치수에 따라 각 부재에 절단치수를 표기한 후 각 부재들의 특성에 맞는 절단 방법을 사용하여 절단 한다. 금속재료들의 경우 보통 절단에 사용되는 장비들은 고속 절단기를 사용하거나 레이저 절단기를 이용하는 방법 등이 있지만, 부대비용을 줄이고 상황에 따라 대응하기 편리한 고속 절단기와 그라인더, 아크 및 CO₂ 용접기를 이용하여 자재를 절단하였으며, 목재의 경우는 자동톱을 사용하여 도면 치수에 맞게 절단하였다.

소형선박 유지 보수용 소형 플로팅 도크시스템의 주요 구성은 파이프 트러스 구조로 되어 있으며, 용접의 용이성과 용접 후 용접부위의 구조강도와 제품의 품질을 높이기 위해 절단 부위를 용접 부위의 형상과 잘 맞도록 아크용접기 및 그라인더 등으로 곡면을 형성시켰다.

소형 플로팅 도크시스템은 뼈대 역할을 하는 총 4개의 구조물과 길이방향으로 척추역할을 하는 길이방향 보강 구조가 연결되어 전체 힘을 지탱하는 구조로 되어 있다. 따라서 힘을 가장 많이 받게 되는 길이방향의 분할은 최소화 하고, 폭 방향의 보강 구조물들의 분할은 길이방향에 비해 비교적 힘을 덜 받아 때문에 작업성을 고려하여 폭 전체를 5등분하여 제작하도록 하였다. 부재들의 절단은 공정연구와 제작 도면에서 확인할 수 있는 것처럼 길이방향의 중심인 1/2지점을 중심으로 좌우가 대칭 되도록 제작하였다. 따라서 부재의 재단은 제작 도면상과 일치하게 길이방향으로 약 6m 길이로 재단을 하였으며, 폭 방향으로 공법연구를 통해 작업편의성을 높이기 위해 분할되지 않는 치수로 재단하

여 제작하고, 가로 보강부의 제작이 끝난 후 절단하여 플랜지를 붙이는 방법을 적용하기로 하였다.

플랜지와 각 용접된 부분은 특별히 물이 스며들지 않게 진행 하였다. 만약 용접부위로 물이 들어가 파이프 내부에 물이 고이게 되면 그만큼 부력의 손실을 가져오며 오랜 기간 방치될 경우 내부에서 산화가 일어나 부식이 발생한다.

플랜지는 사용되어지는 파이프 외경 150mm Φ , 100mm Φ , 70mm Φ 의 크기에 따라 각각 제작되었으며, 용접작업과 조립/분해 작업이 용이하도록 용접될 파이프 외경보다 크게 265mm Φ , 201mm Φ , 176mm Φ 크기로 각각 제작한다. 모든 플랜지의 두께는 12T로 제작하고 M20 볼트가 체결될 수 있도록 22mm \varnothing 로 구멍(hole)가공을 하였으며 총 6개의 볼트로 조여 체결하였다. Fig. 5.6은 제작된 플랜지와 철재 볼트의 모습을 보여주고 있다.



Fig. 5.6 Flange & steel bolt for assemble frame

플랜지를 용접한 후 완료한 후 파이프와 파이프 사이, 파이프와 플랜지 사이 등 용접된 여러 부위에 이물질 제거 및 표면 정리 작업을 1차로 수행하고 2차로 조립품에 대해 전문 표면처리 업체에서 Short Blast 작업을 수행하여 제품의 품질을 높이고자 하였다.

또한, 그라인더 작업이 완료된 후 도색작업을 하기 전에 각 단품들의 제작 상태, 표면처리가 잘 되었는지, 조립에 어려움이 없는지, 수정사항이 발생하지 않는지 가조립을 수행하여 조립시의 문제점을 사전에 예방하였다.

각 부분의 무게는 가장 가벼운 부분인 외각 프레임이 약 300kg정도, 가장 무거운 부분인 중앙 보강 구조물이 1.2톤 정도로서 공장에 설치된 천장 크레인을 이용하여 조립하는데 큰 어려움이 없었다.

조립순서는 일단 중앙 보강 구조물을 앞뒤로 위치하여 볼트를 이용하여 조립하고, 중앙보강 구조물을 중심으로 밖으로 조립을 하였다. 조립 중에는 큰 어려움은 없었으며, 비교적 쉽게 조립을 할 수 있었다. 조립에 투입된 인원은 안전성을 고려하여 총 4명이 투입 되었지만, 3명으로도 충분히 조립을 수행할 수 있을 것으로 생각된다. Fig. 5.7은 공장 내부에서 가조립된 모습을 보여주고 있다.



Fig. 5.7 Temporary assembly before painting

가조립 단계가 끝난 후, 제품의 도색을 위해 가조립된 제품을 조립의 역 순으로 분해를 하였다. 분해과정 역시 큰 어려움 없이 수행할 수 있었다.

도장에 앞서 도장 품질을 좋게 하기 위해 도장할 제품 표면에 묻어 있는 먼지나 불순물 등을 제거하는 과정(전처리)과, 도색작업의 방해 요소를 사전에 정리/정돈하여 작업 전 제거해야 한다.

도색은 상가시스템 특성상 부식에 강해야 함으로 먼지 및 불순물 제거 작업이 완료된 제품에 초벌로 도포하였다. 방청 도료는 표면에 막을 형성하여 제품의 산화를 막아주는 도료이며, 일반적으로 조선 분야에 많이 사용된다. 방청 도료작업이 완료된 후 선박용 도료를 방청도료가 도포된 윗부분에 추가 도포하여 도색 작업을 완료하였다.

5.3 프레임 및 부력탱크 결합

프레임과 부력탱크의 조립 및 결합은 구조물 이송 및 조립의 용이성을 위해 시운전 장소로 예정된 경남 진동항 방파제에서 조립 작업을 수행하였다. 조립은 크레인을 이용하여 수행하며, 이동 및 조립에 고정하는 용도를 사용하였으며, Fig. 5.8과 Fig. 5.9은 대상 제품의 도장 및 조립후의 모습이다.



Fig. 5.8 Finished frame painting



Fig. 5.9 Assemble frame and buoyancy tank

작업은 프레임 플랜지의 파손과 작업성을 고려하여 바닥부분에 고임 나무를 설치하고 그 위에 프레임 부분을 올린 후 조립할 다른 프레임을 크레인을 이용하여 이동시키며 볼트로 조여 조립하였으며, 부력탱크와의 조립은 중앙프레임

의 조립이 완성된 후에 크레인을 이용하여 조립하도록 하였다.

부력탱크 조립이 완료된 후 선박이 안착될 상가시스템 내부 상판부분을 조립하였다. 상가시스템의 내부 상판은 초기 개념 설계 및 설계과정에서는 철망을 용접하고 그 위에 오물 및 쓰레기 수거용 천막을 설치하기로 하였지만, 작업자의 안전과 유비지 등의 비용을 줄이기 위해 가장 구하기 쉬운 목재를 대신 사용하였다. Fig. 5.10는 목재 상판을 조립하고 있는 모습을 보여주고 있다.



Fig. 5.10 Timber top assembly work

목재의 고정에는 프레임 제작 상부 보강 파이프 위부분에 적당한 사이즈의 플레이트가 설치되어 있어 플레이트 부분에 목재의 사이즈에 맞게 홀 작업 후 조립과 분해가 간편한 볼트로 고정하는 방식을 선택하였다.

목재는 상가시스템 내부 상판의 절반 크기에 맞게 제작하였으며, 총 72개의 나무판을 사용하였다. 목재상판 작업이 완료되고 작업자가 이동할 수 있도록 부력탱크 상판에 가드레일과 철망을 설치하는 작업을 수행하였다.

가이드레일 및 철망 설치작업은 미리 공장에서 제작과 도장을 완료하고 현장에서는 고정을 위한 수정 작업 및 조립을 위한 용접 작업을 주로 수행하였다. Fig 5.11는 작업자 이동용 가이드레일 및 철망 설치 작업을 수행하고 있는 모습을 보여주고 있으며 설계 시 고려되지 않은 부분에 대해선 현장맞춤에 의한 방식에 의해 즉시 작업을 수행하였으며 현장 여건상 해수에 대한 재질 보호를

위해 용접부위에 대해 터치업 작업을 수행하였다.



Fig. 5.11 Top of the guard rail and wire work

마지막으로 부력탱크 상부의 펜스작업이 완료되어 탱크에 물을 채우거나 뺄 때 사용되는 배관 파이프 조립작업을 수행하였다. 배관 파이프는 탱크 내 나누어진 양쪽 각각의 공간에 하나씩 설치되도록 양쪽으로 각각 3개의 연결 파이프를 설치하였다. 또한 수리대상 선박을 상가하거나 하가시 3개로 분리된 각 탱크 내부에 해수를 유입하거나 뺄 때 대상 선박의 선저 형상에 적절히 상가장치의 트림을 조정하도록 각 파이프에는 독립적으로 작동되는 수동식 밸브를 설치하였다. 연결된 파이프는 상가장치의 앞쪽에 1개의 펌프를 이용하여 유입 혹은 배수를 할 수 있도록 하였으며, Fig 5.12는 소형선박 유지 보수용 소형 플로팅 도크시스템의 펌프 및 배관 파이프 작업이 완료된 모습을 보여주고 있다.



Fig. 5.12 Pipe work and pump installation is complete

5.4 해상 실험

해상시운전(sea trial) 성능평가는 모든 제작 공정이 완료되고 조립된 상태에서 제품의 기본계획, 설계 및 생산을 거쳐 최종적으로 제품의 성능을 확인하는 단계이다. 제품의 설계와 모형시험, 구조 해석의 신뢰도를 점검하며, 주요 장비의 기능과 가동 상태 등을 조정 및 평가 하는 과정이다.

해상시운전 전 기록은 해상시운전을 수행하는 일반적인 환경요소를 기록하는 과정으로 해상의 상태와 시운전 전의 대상 제품의 상태를 기록한다.

보통 해상상태는 날씨, 파고 등을 목측하거나 기상청의 일기예보를 참조하기도 하며, 제품의 상태는 홀수, 트림, 경하중량 및 시운전 참여 인원 등을 체크하여 기록한다. Table 5.1 는 시운전 기본 사항을 체크하여 기록한 것으로, 해상 시운전은 경남 진동항에서 수행하였다.

Table 5.1 Sea trial test condition

Subject	Small floating dock system	Location	Gindong, Gyeongnam
LOA	12m	Molded breath	7.44m
Molded depth	2.12m	Draft	0.45m
Attendance	10 people	Light weight	9톤
Weather conditions	Sunny	Seawater Specific Gravity	1.024
Seawater temperature	12°	wave height	Less than 0.5m
Others	-		

성능평가 항목은 Table 5.2와 같으며, 계측방법은 작업자가 직접 투입되어 소요되는 시간을 측정하기로 하고 관련 내용을 계측하였다.

Table 5.2 Result of sea trial test

Test types	Test content	The main measurements
Visual test	Parts and visual inspection	Visual inspection
Light weight test	Compared with the buoyancy capacity calculation	Cranes and buoyancy calculations result
Pump test	Inspect the pump	Operating test
Filling time	Timing for the ship's grounding destination	Time measurements
Mooring time	Inspection methods and ease of target vessel moored	Time measurements and observations
Draining time	Target shipping time measuring up to the draft	Time measurements and observations
Buoyancy capacity tests	Compared with the buoyancy capacity calculation	Buoyancy calculations
Filling time	Target vessel departure the time it takes for the draft measure to the sedimentation	Time measurements and observations
Easy of departure ship	Problems departure ship and time measurements	Time measurements and observations
Convenience of operation	grounding operations Persons required	Visual inspection

가장 먼저 경하중량에 따른 부력탱크 용량 비교는 Fig. 5.13에서 모형시험 결과와 계산 결과를 비교하였다. 경하 중량에 따른 플로팅 도크시스템의 흘수는 약 0.45m로 모형시험 결과와 부력탱크용량 계산 결과와 유사함을 확인하였다.

또한, 선박을 상가시켰을 때 플로팅 도크시스템의 자중과 대상 선박의 자중을 포함한 무게에 의한 플로팅 도크시스템의 성능을 검사하는 것이다. 선박은 총톤수 3톤으로 무게단위로 변환시키면 약 4톤 정도의 자중을 가지고 있다. 따라서 전체 무게 약 10톤 일 때 실제 흘수를 Fig. 5.14에서 보여주고 있다. 계산 결과와 측정결과를 비교해 보면 부력탱크 부력성능은 양호한 것으로 확인 되었다.



Fig. 5.13 Result of model test

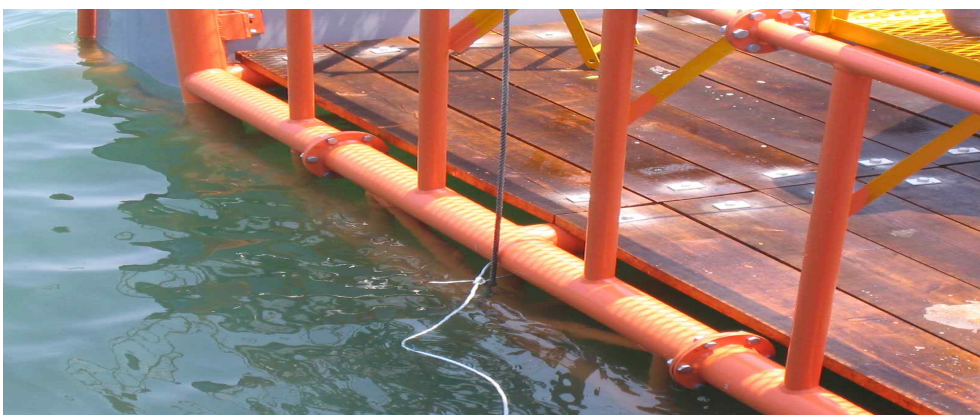


Fig. 5.14 Result of sea trial test

소형선박 유지 보수용 소형 플로팅 도크시스템의 해상 시운전 성능 계측에 대상선박 출입 시험을 위하여 길이 9m급, 무게 4톤의 연안 복합어선을 이용하여 출입 시험을 수행하였다.



Fig. 5.15 Sea trial test of model ship

출입 시험은 대상 선박의 출입 시 상가시스템을 침강시키는 시간과 계류에 걸리는 시간 그리고 작업을 위한 홀수 높이까지 올리는 시간, 배를 출항시키기 위해 홀수까지 내리는 시간 등을 측정하였으며, 선박의 출입의 용이성과 상가 후 작업 공간의 확보 등을 평가하였다.



Fig. 5.16 Before the test

Fig 5.16은 시험 대상 플로팅 도크시스템의 시험 준비 모습을 보여주고 있으며, Fig. 5.17는 대상 선박을 상가하기 위하여 탱크 내부에 물을 넣고 대상 선박이 상가시스템 내부로 진입할 수 있는 홀수까지 물을 채운 후의 모습을 보여주고 있다. 이때 측정된 시간은 약 40분정도로 초기 목표 1시간 이내보다 20여 분 빠른 것으로 측정되었다.



Fig. 5.17 Fill the buoyancy tank



Fig. 5.18 Target vessel entry



Fig. 5.19 Drain the buoyancy tank



Fig. 5.20 Target vessel departure

Fig 5.18은 수리를 위해 시험 대상 플로팅 도크시스템 내부로 들어오는 모습을 보여주고 있으며, Fig. 5.19는 상가시스템 내부에 계류 후 수리를 위해 탱크 내부의 물을 배수하는 모습을 보여주고 있다.

대상 선박을 상가시스템 내부에 상가시키기 위해 원하는 홀수까지 내린 후 대상 선박이 상가시스템 내부로 진입하는데 걸린 시간은 1분이 채 되지 않았으며, 진입 후 계류를 위해 필요한 인원도 운전자를 포함하여 2명이면 충분하였다. 또한 상가를 위해 탱크 내부의 물을 배수하는 시간도 40여분 소요되어 초기 목표치보다 20여분 단축시킬 수 있음을 확인하였다. 또한 Fig. 5.20은 수리가 완료된 선박이 상가시스템을 빠져나가고 있는 모습을 보여주고 있다. 이를 통해 초기 설계 및 모형시험을 통한 소형선박 유지 보수용 소형 플로팅 도크시스템 주요성능을 검증하였다.

5.5 해상시험 결과

시스템의 적절한 크기를 선정하기 위해 대상 선박을 선정하여 플로팅도크 초기 설계를 수행하고 설계에 대한 구조 강도 안정성을 검증하기 위해 메인 프레임과, 부력탱크의 구조해석(FEM)하였으며, 또한 구조 안정성을 확보한 최종 모델에 대해 1/10 크기의 축소 모형을 제작하여 수조모형 시험을 통해 초기설계의 검증을 실시하였다.

또한 구조해석 및 모형시험을 통하여 시스템의 안정성 및 성능을 입증한 최종 결과물에 대한 해상 시험을 통하여 이론적 근거에 대한 검증 절차를 수행하였다.

해상 성능 시험을 통해 플로팅 도크시스템의 자중에 의한 흘수(0.45m)와 설계 계산 예상 흘수(0.45m)가 일치함을 확인하였고, 모형 수조시험 흘수 0.045m도 축척비를 감안하여 합리적임을 확인할 수 있었다. 그리고 Table 5.3과 같이 외관 검사, 선박유입시간, 선박 계류시간, 배수시간, 부력용량검사 및 선박 입출항의 용이성에 대해서도 확인할 수 있었다.

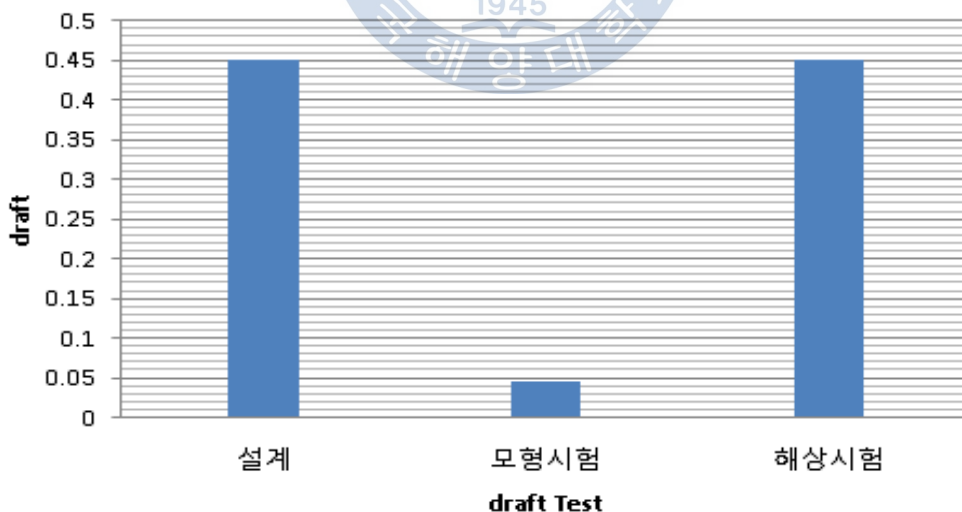


Fig. 5.21 Compare draft

Table 5.3 Result of floating dock system

Test types	Test content	Result
Immersion time	Timing for the ship's grounding destination	40 minutes
Shipping mooring time	Timing of target vessel moored	4 minutes
Floating time	Shipping up time measured after grounding	40 minutes
Sedimentation time	Target vessel departure the time it takes for the draft measure to the Sedimentation	30 minutes
Ease of departure	Problems departure ship and time measurements	2 minutes
Visual test	Surface test	good

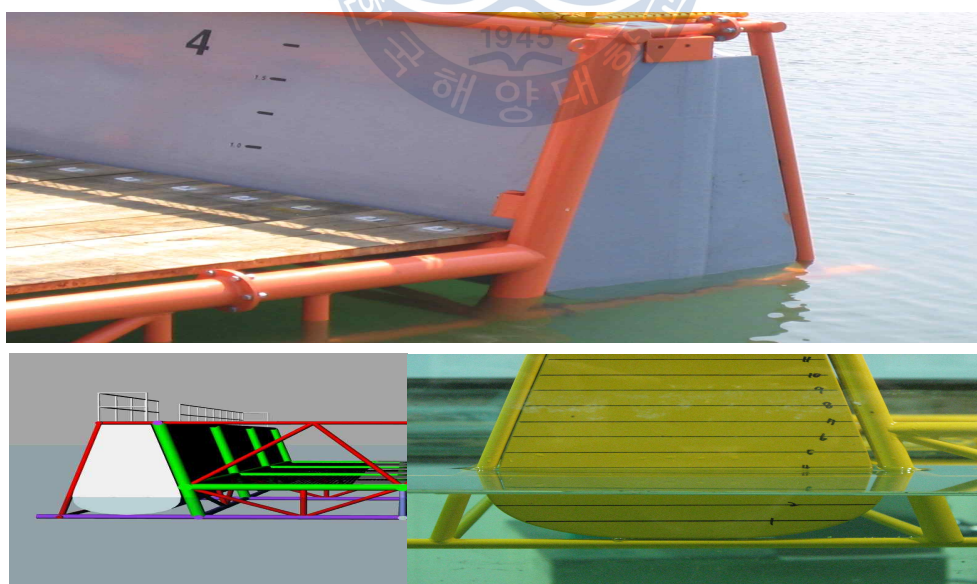


Fig. 5.22 The draft results of model tests and sea trial test

제 6 장 결 론

플로팅 도크시스템의 구조 해석 및 모형 시험을 수행하고, 실 해상 시험 검증을 하기위한 실물 플로팅 도크시스템을 제작하여 기능성과 안정성에 대한 연구를 수행 하였다.

총톤수 5톤 미만의 소형선박 보수, 유지·관리용 플로팅 도크시스템 부력탱크의 부력성능 추정을 위하여 중소조선 연구원 회류수조에서 플로팅 상가의 모형 시험을 수행하여 플로팅 도크시스템 자체중량, 유지, 보수 대상선박의 최대중량 일 때의 흘수를 계측하였다. 시험결과 계획한 총톤수 5톤급 미만의 소형 선박은 모형 부력탱크에 유입수를 조절을 통해 플로팅 도크시스템 내 유지, 보수를 위한 계류, 안착이 원활히 이루어지는 것을 확인하였으며, 이를 통하여 소형선박 보수, 유지관리용 개발대상 플로팅 도크시스템 부력탱크의 용량과 최적규모를 검증하였으며, 주요기능을 확인하였으며, 그 결과 활용성이우수한 것으로 판단한다.

본 연구를 통하여 소형선박 보수, 유지관리용 해상 플로팅 도크시스템의 개념설계 기법 정립과 소형 상가시스템의 실물제작, 실선 시험을 통한 개념설계 및 기본설계에 대한 검증을 완료함으로써 연·근해의 소형 레저보트 및 소형어선의 유지·보수 시 조선소의 작업 공간, 인력 및 작업시간 단축에 따른 새로운 방법을 제시하였다. 그리고 소형선박의 수리 작업 시 동반되는 작업환경의 개선 및 상가 작업시의 안전성 확보에도 기여할 것으로 판단된다. 또한, 플로팅 도크시스템은 조선소의 사업 다변화로 신규물량 창출을 통한 경영수지를 개선하고, 작업 기피해소의 필수도구 및 해양레저 수요 급증에 따른 레저선박 유지관리용으로 활용함으로써 해양레저산업 활성화에 기여할 것으로 생각한다. 나아가 본 개발에 머물지 않고 소형플로팅 도크를 개선하여 중·대형 플로팅 도크시스템 개발 시 기반자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 해양수산부, “근해어업의 업종별 적정경영규모 산정에 관한 연구, 중소조선연구원, 2004
2. 중소기업청, “동해안 고속 낚시어선 개발”, 중소조선연구원 2004
3. 중소기업청, “환경친화형 알루미늄 소재를 이용한 소형 연안어선 개발”, 중소조선연구원, 2005
4. 중소기업청, “작업환경(고위험, 고중량) 개선을 위한 중소형선 전용 상가장치 개발”, 중소조선연구원, 2006
5. 제병렬 외, “고속정의 선형 특성에 관한 연구”, 대한조선학회 추계논문발표회, 1999
6. 백영수 외, “상가작업 환경개선을 위한 소형선박 상가 자동화장치 개발”, 대한조선학회,
7. 박충환 외, “G/T 4톤급 활주형 낚시어선의 저항특성 연구”, 한국산학연 논문집, 제4권 제3호
8. 박충완 외, “소형선박 유지·관리용 Floating Dock시스템 개념설계”, 한국항해항만학회 논문집
9. “해양레저산업육성 정책 세미나”, 2005
10. 해양경찰청, “수상레저기구 우수사업장 인증 및 형식승인 방법에 관한 연구”, 2005
11. 중소조선연구원, “G/T 150톤급 해경방제정 유체역학적 특성 비교, 검토연구”, 2006
12. 대한용접학회, “용접용어사전”, 1992
13. 염영하, 기계공작법, 동명사, 1998
14. 2005.미국조선학회, “기본조선학”, 대한교과서주식회사, 1997
15. 대한용접학회, “용접·접합 편람”, 1998
16. 철강 열처리의 기본원리, 문우당, 2001
17. 이수룡 외, “조선공학일반”, 2002
18. 김여효 외, “기초유체역학”, 건기원, 2003
19. 해양수산부, “어촌·어항법 및 어장관리법” 2006
20. 해양수산부, “다목적 연안소형어선의 어로시스템 및 선형개발 방안 연구”. 중소조선 연구원, 2003